Aus der Chirurgischen Universitätsklinik und Poliklinik Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. E. Kern

ÜBER TRANSKUTANE SAUERSTOFFPARTIALDRUCKMESSUNG BEI PERIPHERER ARTERIELLER VERSCHLUSSKRANKHEIT

INAUGURAL - DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Hermann-Otto Knecht
aus Zweibrücken

Würzburg, 10. Juli 1981

Aus der Chirurgischen Universitätsklinik und Poliklinik Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. E. Kern

ÜBER TRANSKUTANE SAUERSTOFFPARTIALDRUCKMESSUNG BEI PERIPHERER ARTERIELLER VERSCHLUSSKRANKHEIT

INAUGURAL - DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Hermann-Otto Knecht
aus Zweibrücken

Würzburg, 10. Juli 1981

Referent : Prof. Dr.med. M. SPERLING

Korreferent : Prof. Dr.med. E. KERN

Dekan : Prof. Dr.med. K.-H. WULF

Tag der mündlichen Prüfung: 20.11.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
A)	EINLEITUNG	1
B)	BISHERIGE $tcPo_2$ MESSUNGEN BEI PATIENTEN MIT AVK	4
C)	METHODE	5
	I. Grundlagen zur $tcPo_2$-Messung	5
	II. Meßgeräte	6
	III. Klinische Daten	7
	IV. Untersuchte Personen	7
	V. Untersuchungsablauf	8
	VI. Die Heizleistung	11
D)	ERGEBNISSE	12
	I. Ergebnisse zur Methode	12
	II. Ergebnisse bei Gefäßgesunden und Patienten	14
	1. Überblick über die Ergebnisse der $tcPo_2$-Messung	14
	2. Der $tcPo_2$ bei den einzelnen Teilbereichen der Untersuchung	14
	3. Korrelation der schmerzfreien Gehstrecke mit den Ergebnissen der $tcPo_2$-Messung	32
	4. Die Heizleistung	34

Seite

III. Ergebnisse bei den Patienten vor und nach einer operativen Gefäßrekonstruktion 37

1. Anamnese, klinische Untersuchung 37
2. Angiogramme 39
3. Überblick über die $tcPo_2$ Ergebnisse 39
4. Der $tcPo_2$ bei den einzelnen Teilbereichen der Untersuchung 43
5. Stadieneinteilung anhand der $tcPo_2$-Messung 52
6. Vergleich des $tcPo_2$ mit dem Angiogramm 55
7. Fallbeispiele 58

E) DISKUSSION 65

F) ZUSAMMENFASSUNG 68

G) LITERATURVERZEICHNIS 70

A) EINLEITUNG

Die Diagnose einer arteriellen Verschlußkrankheit (AVK) der unteren Extremität erfolgt anhand klinischer Symptome wie claudicatio intermittens, fehlende periphere Pulse und Ruheschmerz. Klinisch-angiologische Untersuchungsmethoden, wie die Lagerungsprobe der Beine (Ratschow), Zehenstandsübungen oder die standardisierte Ermittlung der Dysbasiestrecke ergänzen diese Diagnostik.

Zur Bestätigung der Diagnose und zur Überprüfung von Therapieerfolgen wurden in den letzten Jahren und Jahrzehnten zahlreiche apparative Untersuchungsmethoden initiiert, die zum Teil ihre Anwendung in der klinischen Praxis fanden (KAPPERT,(45). Oszillographie, Plethysmographie, Hautthermometrie, ^{133}Xenon-Cleanrance-Methode und Doppler Verfahren sind einige dieser Verfahren. Die mit der Minderdurchblutung einer Extremität einhergehende Abnahme des poststenotischen Druckes und/oder Flusses läßt sich mit diesen Methoden direkt oder indirekt nachweisen. Ihre Anwendung beruht somit auf hämodynamischen Prinzipien.

Auch die Messung biochemischer Parameter in Ruhe und nach Belastung zur Diagnose der AVK ist möglich.

So wurde von NISSEN et al. (55, 56) im femoralvenösen Blut bei Belastung im Vergleich zu Gesunden ein höherer Anstieg der Lactatkonzentration und des CO_2-Partialdruckes (Pco_2), sowie eine größere Abnahme des pH und des Sauerstoffpartialdruckes (Po_2) festgestellt. Die Eignung dieser Parameter für die Verlaufs- und Therapiekontrolle wurde bejaht (MATTHES et al. (53)).

In den letzten Jahren wurde auch die Messung des Po_2 im ischämischen Muskelgewebe für pathophysiologische Untersuchungen angewandt (SCHROEDER (66), EHRLY u. SCHROEDER (15, 18)). Ein klinischer Einsatz dieser Methode erfolgte auch für die Diagnose der AVK und zum Nachweis eines Therapieerfolges, sowie zur klinischen Überprüfung der Wirksamkeit von Medikamenten (EHRLY et al. (14, 16, 19)). Ein signifikanter Unterschied zu Gesunden ließ sich nachweisen (EHRLY et al. (13, 18). Die Anwendung bringt zwangsläufig eine kleine Verletzung im ischämischen Gewebebezirk mit sich. Es handelt sich somit um eine invasive Methode.

Vor einigen Jahren wurde von HUCH, HUCH u. LÜBBERS (36, 41) eine einfach handhabbare, schnell reagierende Elektrode entwickelt, die es erlaubt, einen Po_2 durch die intakte Haut zu messen, der unter bestimmten Bedingungen dem arteriellen Po_2 weitgehend entspricht.

Die Anwendung dieses, als transkutane Sauerstoffpartialdruck-Messung ($tcPo_2$) bezeichneten Verfahrens, erfolgte in immer mehr klinischen Bereichen.

Ursprünglich in der Geburtshilfe entwickelt, mit der Vorstellung den Po_2 des Feten sub partu zu messen (HUCH et al. (30, 35), dehnte sich der Anwendungsbereich des Verfahrens bald auf die Perinatologie (FENNER et al. (21), HUCH et al. (29, 34), SEEBACH et al. (63) und einige Bereiche der Kinderheilkunde aus (BUCHER et al. (6), HUCH et al. (32), ROOTH et al. (62), STECHELE et al. (68), WENDTLAND (75). Für die Überwachung des Patienten in Narkose (DENNHARDT et al. (9), HUCH et al. (31), STOSSECK (69) und in der Intensivpflege (GOECKENJAHN et al. (23), HEMPELMANN et al. (27), REINEKE (58) findet die Methode gleichfalls, zum Teil bereits routinemäßig Verwendung. Auch für die Überprüfung der Einheilung von Hauttransplantaten (KELLER et al. (46), KNOTE et al. (47) wurde das Verfahren heran - gezogen.

Ziel dieser Arbeit ist es, herauszufinden, ob diese nicht invasive Methode bei Patienten mit einer AVK eine Aussage über Diagnose und Therapieerfolg erlaubt. Anhand eines Untersuchungsprogrammes mit Belastungsproben werden folgende Fragen erörtert:

1. Lassen sich bei der $tcPo_2$-Messung am Unterschenkel Unterschiede zwischen Gefäßgesunden und Patienten mit einer AVK der unteren Extremität feststellen?

2. Läßt sich mit dieser Methode eine operativ bedingte Mehrdurchblutung durch Messungen vor und nach einer Gefäßrekonstruktion dokumentieren?

B) BISHERIGE $tcPo_2$ MESSUNGEN BEI PATIENTEN MIT AVK

Bereits 1973 schlugen EBERHARD et al. (11) vor, die von ihnen entwickelte $tcPo_2$ Meßelektrode zur Ermittlung des Sauerstoffdruckes des Gewebes bei peripheren Gefäßkrankheiten heranzuziehen. Es sei erwähnt, daß die von ihnen gewählte großflächige Kathode zur O_2 Reduktion, und die deshalb notwendigerweise für O_2 wenig permeable Membran, zwangsläufig eine langsame Reaktionszeit auf Po_2 Änderungen bedingt (EBERHARD et al. (11), HUCH et al. (37, 42), VERSMOLD et al. (73).

Bei den durchgeführten Untersuchungen ist dagegen die hier verwendete, auf Po_2 Änderungen schnell reagierende Elektrode, vorteilhaft.

TØNNESEN (70) maß den $tcPo_2$ an der Großzehe bei Patienten mit AVK im Vergleich zum systolischen Blutdruck und zur Durchblutung (^{99m}Tc-pertechnetate clearance). Die von ihm benutzte $tcPo_2$ Elektrode (Radiometer, Denmark) entspricht weitgehend der der vorliegenden Untersuchung (VERSMOLD et al. (73), VESTERAGER (74). Eine Änderung des Perfusionsdruckes, und damit der Durchblutung, führte TØNNESEN (70) mit einem Lagewechsel der Probanden herbei.

Er fand eine Abhängigkeit des $tcPo_2$ vom lokalen Blutdruck. Der durch eine Erhöhung des Perfusionsdruckes bewirkte $tcPo_2$-Anstieg hing von der Schwere der Krankheit ab.

C) METHODE

I. GRUNDLAGEN ZUR $tcPo_2$-MESSUNG

Der auf der Haut unter Ausschluß des umgebenden Luftsauerstoffs meßbare Po_2 beträgt O oder wenige mmHg (EVANS u. NAYLOR (20), HUCH et al. (40). Durch die Erzeugung einer lokalen Hyperämie mittels Vasodilatation (z. B. durch Nikotinsäurederivate) war es möglich, höhere Werte zu erhalten (EVANS u. NAYLOR (20), HUCH (28), HUCH et al. (35, 40). Jedoch erst die direkte Erwärmung des Gewebes durch eine beheizte Meßelektrode (EBERHARD et al. (11), HUCH et al. (33, 36) führte zu einer genügend hohen und lang andauernden Steigerung der Durchblutung und zu dem arteriellen Po_2 vergleichbaren Werten.

Die Durchblutung der Haut ist normalerweise so geregelt, daß die Menge des antransportierten Sauerstoffs dem Verbrauch der Haut entspricht. Der Sauerstoffgradient fällt bis zur oberen Hautschicht auf wenige mmHg (EVANS u. NAYLOR (20). Durch die lokale Hyperämie bei ausreichender Erwärmung kommt es zu einer Steigerung des Sauerstoff-Angebotes. Der endkapilläre und subepidermale Po_2 erreicht arterielle Werte (HUCH et al. (30, 40). Da der O_2 Verbrauch der gefäßlosen Epidermis als gering angesehen wird (HUCH et al. (42), KELLER et al. (46), bzw. von anderen Faktoren kompensiert wird, kommt es, gesunde Kreislaufverhältnisse vorausgesetzt, auf der Haut zu einem Po_2, der arteriellen Werten weitgehend entspricht.

Dieser Po_2 wird mittels einer modifizierten Clark'schen Elektrode gemessen (CLARK et al. (7), GLEICHMANN u. LÜBBERS (22). Die gesamte $tcPo_2$-Meßelektrode wird auf eine vorgegebene, durch einen

Regelkreis konstant gehaltene Temperatur erwärmt. Der darunter liegende Hautbezirk erreicht dann eine Temperatur, die ca. 2°C unter der Temperatur der Elektrode liegt. Bei der Messung Erwachsener beträgt die Temperatur der Elektrode zweckmäßigerweise 45°C (HUCH et al. (30, 36), ROOTH (60), ROOTH et al. (61).

Ein Teil des ständigen Wärmeverlustes beruht auf der abkühlenden Wirkung des strömenden Blutes. Die Heizleistung der Elektrode, die zur Aufrechterhaltung der gewählten Temperatur benötigt wird, ist somit der lokalen Durchblutung proportional (HUCH et al. (36, 39, 42). Änderungen der lokalen Perfusion lassen sich durch diese zusätzliche Meßgröße erfassen.

II. MESSGERÄTE

Zur Messung des $tcPo_2$ wurde der Servomed Oxymonitor SM 361 der Fa. Hellige verwendet (Oxymonitor). Die zugehörige Meßelektrode (Transoxode) wurde stets am Unterschenkel des zu messenden Probanden angelegt. Die fortlaufende Registrierung des $tcPo_2$ ($tcPo_2$-Kurve) und der Heizleistung fand statt.

Bei 21 Messungen stand zusätzlich ein weiterer Apparat zur $tcPo_2$-Messung zur Verfügung (Laborgerät). Mit diesem Gerät wurde gleichzeitig mit den Messungen am Unterschenkel der $tcPo_2$ am Sternum fortlaufend registriert.

Zur Applikation von Sauerstoff wurde ein O_2-Inhalationsgerät (Firma Dräger) verwendet (offene O_2-Gabe).

III. KLINISCHE DATEN

Die von den Patienten erhobenen klinischen Befunde und anamnestischen Daten wurden anhand der Poliklinikkartei, der Krankengeschichten und der Angiogramme ergänzt.

IV. UNTERSUCHTE PERSONEN

1. Patienten

Die $tcPo_2$-Messung wurde bei 29 Patienten mit einer AVK der unteren Extremität durchgeführt. Die Spannbreite der Schweregrade nach Fontaine-Ratschow reichte von I bis IV (Stadium I: 1 Patient; Stadium II: 17; Stadium III: 5; Stadium IV: 6 Patienten).

Bei 17 dieser 29 Patienten wurde gleichzeitig zur Messung am Unterschenkel der $tcPo_2$ parasternal registriert.

Bei 15 Patienten wurde das gleiche Programm am Unterschenkel nach einer gefäßrekonstruierenden Operation wiederholt.

2. Gefäßgesunde

Untersucht wurden 11 Gefäßgesunde mit einem Durchschnittsalter von 24 (16-29) Jahren. Um den Einfluß des Alters auszuschließen, wurden nochmals 5 Gefäßgesunde mit einem Durchschnittalters von 63 (55-71) Jahren untersucht. Bei diesen Probanden erfolgte gleichzeitig die Registrierung des parasternalen $tcPo_2$ mit dem Laborgerät. Alle 16 Personen boten anamnestisch und anhand einer kurzen klinischen und angiologischen Untersuchung keinen Anhalt für arterielle Verschlüsse.

V. UNTERSUCHUNGSABLAUF

1. Vorbereitungen vor der Anlage der Meßelektroden

Vor Beginn der Messungen wurde in regelmäßigen Zeitabständen die Transoxode neu bespannt. Die Inbetriebnahme der Geräte erfolgte gemäß der Bedienungsanleitung des Oxymonitors. Als Temperatur der Elektrode wurde bei allen Messungen 45°C gewählt (HUCH et al. (30), ROOTH (60). Der zum Kalibrieren des Meßbereiches benötigte Sauerstoffpartialdruck der Luft wurde dem der Bedienungsanleitung beigegebenem Eichdiagramm entnommen. Die zum Zeitpunkt der Untersuchung herrschenden Bedingungen - Barometerdruck, Temperatur der Umgebung - wurden festgehalten und berücksichtigt. Auf die Eichung in Wasserdampf gesättigter Luft wurde verzichtet.

Der Meßbereich des Oxymonitors wurde für den $tcPo_2$ auf 200 Torr eingestellt; der Meßbereich für die Heizleistungsänderung auf 80 ‰ des Heizleistungsgrundwertes.

2. Anlage der Meßelektrode

Die Meßelektrode wurde mit einem Klebering auf der enthaarten und gereinigten Haut fixiert. Auf ausreichenden Hautkontakt wurde geachtet. Ein Tropfen Aqua dest. verhinderte Lufteinschlüsse.

Als Anlageort der Transoxode wurde die Mitte (+/- 2 cm) zwischen medialem Knöchel und medialem Kniegelenkspalt, 5 cm (+/- 2 cm) medial der vorderen Tibiakante gewählt unter Berücksichtigung der lokalen Gefäßverhältnisse (Varizen). Bei den Patienten erfolgte die Anlage an dem Bein, das klinisch die meisten Beschwerden verursachte, bei den Gefäßgesunden abwechselnd rechts oder links. Die Meßelektrode des Laborgerätes wurde bei der Überprüfung des "zentralen $tcPo_2$" parasternal-infraclaviculär befestigt.

3. Untersuchungsgang (Abb. 1)

a) Einlaufzeit

Nach dem Anlegen der Meßelektrode erfolgte ein initialer Abfall (Erwärmungsphase) des $tcPo_2$; nach ca. 10 - 15 min Einlaufzeit (REINEKE et al. (59) wurde ein Plateau erreicht.

b) Ruheplateau

Das Erreichen des Ruheplateaus (= graphischer Mittelwert der $tcPo_2$-Werte während der Ruhelage) wurde sowohl zu Beginn als auch nach den einzelnen Übungen im Liegen abgewartet. Das Kopfteil der Liege war um ca. 20^{o} gegenüber der Horizontalen angehoben.

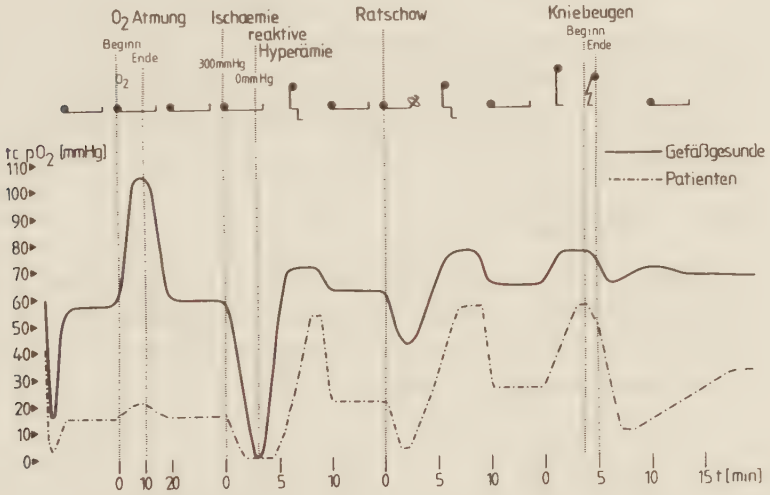


Abb. 1: Der $tcPo_2$ während der Untersuchung
11 jüngere Gefäßgesunde, 11 Patienten mit AVK;
Durchschnittswerte

c) Sauerstoff-Atmung

Den untersuchten Personen wurde über ein offenes System Sauerstoff in einer Menge von 4 l/min während 10 min angeboten. Als O_2-Plateau wird der Durchschnitt der Werte von der 8. - 10. Minute bezeichnet.

d) Arterielle Drosselung mit reaktiver Hyperämie

Mit einer um den Oberschenkel gelegten Manschette wurde durch eine arterielle Drosselung (Druck 270 - 300 mm HG) eine dreiminütige Ischämie erzeugt. Falls nach drei Minuten der $tcPo_2$ nicht auf O Torr sank (3 von 29 Patienten), (7 von 16 Gefäßgesunden), wurde noch eine Minute zugewartet; eine signifikante Änderung der Durchblutungsreaktion ist dadurch nicht zu erwarten (BOLLINGER (2), SCHÜTZ (67).

e) Untersuchung in Anlehnung an die Ratschow' sche Rollprobe

Im Liegen erfolgte ein Anheben der Beine ca. 60^{o} über die Horizontale mit Plantar- und Dorsalflexion der Füße im Sprunggelenk. Nach 2 Minuten oder beim Auftreten von Schmerzen setzten sich die untersuchten Personen auf.

f) Kniebeugen

Als Belastungstest wurden 15 Kniebeugen in 1 Minute gewählt. Vor Beginn der Kniebeugen standen die untersuchten Personen einige Minuten, bis sich ein Plateau im Stehen ausgebildet hatte. Sofort nach Beendigung der Kniebeugen legten sie sich wieder hin.

4. Eichung nach der Untersuchung

Nach der Untersuchung erfolgte eine erneute Eichung der Geräte. Die Drift während der Untersuchung wurde ermittelt.

VI. DIE HEIZLEISTUNG

Neben dem $tcPo_2$ wurde als zweites Meßsignal der Verlauf der Heizleistung während der Messung aufgezeichnet. Die Angabe der Heizleistung, die für die Aufrechterhaltung der konstanten Temperatur der Elektrode (hier $45^{o}C$) nötig war, erfolgte in ‰ des Heizleistungsgrundwertes. Die Heizleistung ist von der lokalen Perfusion abhängig; daneben sind aber die Gewebebeschaffenheit und der Wärmeverlust in die Umgebung zu berücksichtigen.

Um den Einfluß der Umgebungsverhältnisse zu untersuchen, wurde bei einem Teil der Messungen (5 Gefäßgesunden; 14 Pat.) die Transoxode mit einer selbst angefertigten Schaumstoffauflage bedeckt ("isolierte" Transoxode). Die Schaumstoffabdeckung wies eine Aussparung in der Größe der Transoxode auf, so daß ein Druck auf die Meßelektrode und somit auf das darunter liegende Gewebe vermieden wurde.

Bei einem Gewicht von 4, 5 p und einer Auflagefläche von 15 cm^2 war der durch das Gewicht bedingte Druck auf das Gewebe ($0,3 \frac{p}{cm^2}$ kleiner als der Druck der Meßelektrode ($1 \frac{p}{cm^2}$). Eine Beeinflussung der Perfusion im Bereich der Auflagefläche, also im Bereich der Umgebung der Meßelektrode, ist somit nicht gegeben (HAUSS et al. (25), HUCH et al. (33).

D) ERGEBNISSE

I. ERGEBNISSE ZUR METHODE

1. Das Driftverhalten der Meßelektroden

Die Differenz zwischen dem nach Beendigung der Messung vom Meßgerät angezeigten Po_2 der Luft zu dem ursprünglich eingestellten Eichwert (= Drift) betrug beim Oxymonitor durchschnittlich 4,1 Torr (Standardabweichung = s = 3,7 Torr, Tab. 1).

Bei den Messungen des Laborgerätes war die Drift durchschnittlich größer (6,9 Torr, s = 7,0 Torr). Sie wurde direkt bei jedem einzelnen Patienten bei der Umrechnung der Ergebnisse in Torr berücksichtigt. Ein linearer Driftverlauf wurde unterstellt.

Tab. 1: Drift

Oxymonitor	Drift Torr	Drift in % des Eichwertes	Untersuchungsdauer in min	Drift in % des Eichwertes pro h
bei 11 jüngeren Gefäßgesunden	2,8	1,8	118	0,9
bei 5 älteren Gefäßgesunden	8,0	5,1	116	2,6
bei 29 Patienten mit AVK	4,6	2,9	112	1,6
bei 65 Messungen	4,1 (s = 3,7)	2,6	115	1,4
Laborgerät	6,9 (s = 7,0)	4,4	115	2,3

Für den Oxymonitor wird von REINEKE et al. (58, 59) eine Drift von 10-15 % bei einer Meßdauer von 24 h angegeben. Dies entspricht 0, 4 - 0, 6 % pro h.

STOSSECK (69) erhielt bei einer durchschnittlichen Meßdauer von 84 min eine Drift von 5, 4 % pro h.

Die hier erhaltenen Meßdaten liegen hinsichtlich Meßdauer und Drift zwischen diesen beiden Ergebnissen. Sie stützen die Vermutung von STOSSECK (69), daß bei längerer Meßdauer die relative Drift sinkt, die Drift also nicht linear verläuft.

2. Umgebungsbedingungen

Die Temperatur der Umgebung zum Zeitpunkt der Eichung des Meßgerätes am Beginn der Untersuchung betrug durchschnittlich 21, 5° C (s = 0, 6°C). Anhand der jeweiligen Temperatur und dem Luftdruck wurde dem, der Bedienungsanleitung beigegebenem Eichdiagramm der Po_2 der Luft entnommen. Die dem Eichdiagramm zugrunde liegende Feuchte (50 %) wurde im Schnitt nicht erreicht (39 %). Die gemessenen $tcPo_2$-Werte sind, wie eine Berechnung zeigt, somit um 0, 3 % zu niedrig. Der Fehler ist vernachlässigbar. Auch Änderungen der Umgebungsverhältnisse, wie sie z. B. in nichtklimatisierten Räumen (Krankenzimmer) auftreten, sind bei der hier gewählten Untersuchungsdauer ohne Bedeutung.

II. ERGEBNISSE BEI GEFÄSSGESUNDEN UND PATIENTEN

1. Überblick über die Ergebnisse der $tcPo_2$- Messung

Die $tcPo_2$-Meßwerte am Unterschenkel der 11 jüngeren Gefäßgesunden (Durchschnittsalter 24 Jahre; 16 - 29 Jahre), der 5 älteren Gefäßgesunden (Durchschnittsalter 63 Jahre; 55 - 71 Jahre) und der 29 Patienten mit AVK (Durchschnittsalter 61 Jahre; 49 - 74 Jahre) wurden ermittelt und miteinander verglichen. Zwischen den Patienten und den älteren Gefäßgesunden bestand kein signifikanter Altersunterschied. Auch für die 17 Patienten, bei denen eine sternale Messung zusätzlich vorgenommen wurde, erfolgte neben der Auswertung der Ergebnisse am Sternum eine getrennte, zusätzliche Auswertung der Ergebnisse am Unterschenkel. Einen Überblick über Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichungen (s), Standardfehler der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$) und der Anzahl der jeweils untersuchten Probanden (n) gibt die Tabelle 2.

Auf die Wiedergabe der Ergebnisse der einzelnen Probanden wurde verzichtet.

Die Ergebnisse des Signifikanztestes auf Unterschiede der Mittelwerte der einzelnen Probandengruppen (Student-t-Test) sind in der Tabelle 3 zusammengestellt.

2. Der $tcPo_2$ bei den einzelnen Teilbereichen der Untersuchung

2.1 Ruhewertplateau im Liegen

2.1.1 Schwankungen des Ruhewertplateaus

Das Ruhewertplateau stellt den graphischen Mittelwert der $tcPo_2$-Werte im Liegen dar. Wie auch von HEDSTRAND et al. (26) und HUCH et al.

Tab. 2: $tcPo_2$ Durchschnittwerte bei den verschiedenen Probandengruppen

11	GG	- Gefäßgesunde, Alter unter 30 Jahre, Messung am Unterschenkel
5	GG - US	- Gefäßgesunde, Alter über 30 Jahre, Messung am Unterschenkel
5	GG-St	- Gefäßgesunde, Alter über 30 Jahre, Messung am Sternum
29	AVK	- Patienten mit AVK, Messung am Unterschenkel
14	AVK - v.Op.	- Patienten mit AVK, Messung am Unterschenkel vor einer gefäßchirurgischen Operation
14	AVK - nach Op.	- Patienten mit AVK, Messung am Unterschenkel nach einer gefäßchirurgischen Operation
17	AVK -US	- Patienten mit AVK, Messung am Unterschenkel
17	AVK - St	- Patienten mit AVK, Messung am Sternum

		11 GG	5 GG US	5 GG St	29 AVK	14 AVK vor Op.	14 AVK nach Op.	17 AVK US	17 AVK St
Alter	$\bar{x}$	24	63	63	61				
(Jahre)	s	3,3	5,8	5,8	6,7				
	$s\bar{x}$	1,0	2,6	2,6	1,2				
	n	11	5	5	29				
Ruhewert	$\bar{x}$	58	46	48	19	19	37	17	45
am Beginn	s	6,0	18,1	13,9	20,7	21,0	15	21	8,5
(Torr)	$s\bar{x}$	1,8	8,1	6,2	3,8	5,6	4,0	5,1	2,1
	n	11	5	5	29	14	14	17	17
Plateau i.Sitzen	$\bar{x}$	72	71	60	55	59	66	53	53
nach 3min.	s	5,0	7,8	13,0	11,7	11,8	10,1	11,4	11,4
Ischämie (Torr)	$s\bar{x}$	1,5	3,5	5,8	2,2	3,2	2,7	2,8	2,8
	n	11	5	5	29	14	14	17	17
Plateau i.Sitzen									
nach der	$\bar{x}$	77	73	60	56	63	71	53	55
"Ratschow Probe"	s	5,3	5,7	10	13,6	12,5	9,7	13,3	12,2
(Torr)	$s\bar{x}$	1,6	2,5	4,5	2,6	3,5	2,7	3,4	3,2
	n	11	5	5	27	13	13	15	17
Plateau i.Stehen									
vor den	$\bar{x}$	79	74	57	58	62	70	55	53
Kniebeugen	s	5,7	4,2	9,5	14,8	15,3	11,0	14,9	11,6
(Torr)	$s\bar{x}$	1,7	1,9	4,2	2,8	4,1	2,9	3,6	2,8
	n	11	5	5	29	14	14	17	17
Plateau unter	$\bar{x}$	106	71	88	29	30	59	25	80
O_2-Atmung	s	18	26,4	24,2	31,2	32,4	17,8	30	13,4
(Torr)	$s\bar{x}$	6,9	11,8	10,8	5,8	8,7	4,8	7,3	3,2
	n	7	5	5	29	14	14	17	17
Anstieg unter	$\bar{x}$	45	25	40	10	11	21	8	35
O_2-Atmung	s	13	9,6	14,4	11,7	12,2	10,6	11,8	8,4
(Torr)	$s\bar{x}$	4,9	4,2	6,4	2,2	3,3	2,8	2,9	2,0
	n	7	5	5	29	14	14	17	17
Beginn des $tcPo_2$-	$\bar{x}$	15	12		54	47	29	63	
Wiederanstiegs	s	2,5	3,9		31	20	14,1		
nach 3min.	$s\bar{x}$	0,8	1,7		5,7	5,3	3,8		
Ischämie(sec)	n	11	5		29	14	14	17	
Steigung d.$tcPo_2$-	$\bar{x}$	68	60		54	57	61	51	
Kurve	s	4,6	1,6		11,6	10,1	8,5		
(Winkelgrad)	$s\bar{x}$	1,4	0,7		2,2	2,7	2,3		
	n	11	5		29	14	14	17	
Zeit v.Öffnen d.	$\bar{x}$	20	23		21	21	24	22	
Manschette b.z.	s	7,9	6,6		5,5	6,2	9,6		
Sitzen (sec)	$s\bar{x}$	3,0	2,9		1,1	1,8	2,7		
	n	7	5		25	12	13	15	
Minimalwert n.	$\bar{x}$	41	36		10	10	25	7	
d."Ratschow-Pr."	s	15,9	21,9		13,9	10,9	16,1		
(Torr)	$s\bar{x}$	4,8	9,8		2,7	3,0	4,5		
	n	11	5		27	13	13	15	
Abfall während d.	$\bar{x}$	22	16		15	19	22	16	
Ratschow Probe	s	12,3	7,2		13,3	15,1	11,7		
(Torr)	$s\bar{x}$	3,7	3,2		2,6	4,2	3,2		
	n	11	5		27	13	13	15	
Beginn d.$tcPo_2$-	$\bar{x}$	- 12	- 2		47	36	14	58	
Wiederanstiegs	s	14,1	12,4		36,7	33,6	9,7		
nach d."Ratschow	$s\bar{x}$	4,3	5,5		7,1	9,5	2,7		
Pr." (Torr)	n	11	5		27	13	13	15	
Abfall während	$\bar{x}$	3,7	3,6	0	7,1	8,2	2,0	7,1	- 1,3
1min Kniebeugen	s	1,8	3,8	5,4	4,5	5,4	3,0	5,1	3,1
(Torr)	$s\bar{x}$	0,5	1,7	2,4	0,8	1,5	0,8	1,2	0,8
	n	11	5	5	29	14	14	17	17
tiefster Wert n.	$\bar{x}$	63	62	52	12	10	51	9	52
den Kniebeugen	s	7,7	12,4	7,8	20,9	16,2	14,9	16,9	11,5
(Torr)	$s\bar{x}$	2,3	5,5	3,5	3,9	4,3	4,0	4,1	2,8
	n	11	5	5	29	14	14	17	17

Tab. 3: t - Test; Signifikanzniveau

a - Vergleich: Unterschenkel jüngere Gefäßgesunde - Unterschenkel ältere Gefäßgesunde
b - Vergleich: Unterschenkel ältere Gefäßgesunde - Sternum ältere Gefäßgesunde
c - Vergleich: Unterschenkel Patienten - Sternum Patienten
d - Vergleich: Sternum ältere Gefäßgesunde - Sternum Patienten
e - Vergleich: Unterschenkel jüngere Gefäßgesunde - Unterschenkel der Patienten
f - Vergleich: Unterschenkel ältere Gefäßgesunde - Unterschenkel der Patienten

	a	b	c	d	e	f
$tcPo_2$-Ruhewert	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
- am Beginn	$0,05 < p < 0,1$					
- nach O_2-Gabe	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
- nach "Ratschow-Probe"	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
- nach 3min. Ischämie	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
- nach den Kniebeugen	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,01$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,05$
$tcPo_2$ Plateau im Sitzen -nach 3min. Ischämie	keine Sign.	-	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
- nach der "Ratschow Probe"	keine Sign.	-	keine Sign.	-	$p < 0,001$	$p < 0,01$
$tcPo_2$ Plateau im Stehen vor den Kniebeugen	keine Sign.	$p < 0,01$	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$tcPo_2$ Plateau unter O_2-Gabe	$p < 0,05$	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
$tcPo_2$ Anstieg auf O_2-Gabe	$p < 0,05$	keine Sign. ($p < 0,1$)	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,01$
Beginn des Wiederanstiegs nach 3min. Ischämie	keine Sign.	-	-	-	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Steigung der $tcPo_2$Kurve	$p < 0,001$	-	-	-	$p < 0,001$	$p < 0,05$
Zeit vom Öffnen der Manschette bis zum Sitzen	keine Sign.	-	-	-	keine Sign.	keine Sign.
Minimalwerte nach der "Ratschow Probe"	keine Sign.	-	-	-	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Abfall während der "Ratschow Probe"	keine Sign.	-	-	-	keine Sign.	keine Sign.
Beginn des Wiederanstiegs nach Ende der "Ratschow Probe"	keine Sign.	-	-	-	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Abfall während der Kniebeugen (1 min)	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,01$	keine Sign.
tiefster Wert nach den Kniebeugen	keine Sign.	keine Sign.	$p < 0,001$	keine Sign.	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Alter	$p < 0,001$	-	-	-	$p < 0,001$	keine Sign.

(33, 37, 43) festgestellt wurde, traten Schwankungen um den $tcPo_2$-Mittelwert von +/- 3 Torr in Abhängigkeit von Atemfrequenz und -tiefe (z.B. bei Husten, Niesen, Sprechen) sowie von Bewegungen des Oberkörpers und/oder der Beine auf. Wurde dies vermieden, waren die Schwankungen geringer.

2.1.2 Altersabhängigkeit des Ruhewertplateaus

Während bei den jüngeren Gefäßgesunden am Beginn der Untersuchung ein Ruhewertplateau von 58 Torr (s = 6 Torr) erreicht wurde, waren es bei den älteren Gefäßgesunden lediglich 46 Torr (s = 18 Torr). Der Unterschied von 12 Torr war jedoch nicht signifikant ($0,05 < p < 0,1$).

2.1.3 Werte der Patienten am Unterschenkel im Vergleich zu den Ergebnissen Gefäßgesunder

Der Durchschnitt des $tcPo_2$ am Beginn der Messung betrug bei den Patienten 19 Torr (s = 21 Torr). Er lag signifikant unter den Werten der Gefäßgesunden ($p < 0,001$ für jüngere, $p < 0,01$ für gleichaltrige Gefäßgesunde) (Tab. 3).

Betrachtet man die Ergebnisse der Patienten im einzelnen, so fällt die unsymmetrische Verteilung der Ruhewerte auf.

15 Patienten haben Ruhewerte unter 10 Torr, bei 2 Patienten liegt der Ruhewert bei 60 Torr, die restlichen 12 Patienten haben Ruhewerte zwischen 13 und 46 Torr.

2.1.4 Vergleich der Ruhewerte an Unterschenkel und Sternum

Bei den Gefäßgesunden bestand zwischen dem Durchschnitt der Ruhewerte an Unterschenkel (46 Torr, s = 18 Torr) und Sternum (48 Torr, s = 14 Torr) kein signifikanter Unterschied.

Bei den Patienten lagen die Werte am Sternum (45 Torr, s = 9 Torr) deutlich höher als am Unterschenkel (17 Torr, s = 21 Torr) ($p < 0,001$). Der Unterschied zwischen den Mittelwerten am Sternum der Gefäßgesunden (48 Torr) und der Patienten (45 Torr) war nicht signifikant.

Bei 7 der 11 jüngeren Gefäßgesunden erfolgte nach Beendigung der Messung am Unterschenkel, eine Neuanlage der Transoxode des Oxymeters am Unterarm. Die Meßdauer betrug ca. 20 Minuten. Während bei diesen 7 Patienten der unmittelbar vorangehende Durchschnittswert am Unterschenkel 66 Torr betrug, waren es am Unterarm 70 Torr. 2 dieser 7 Probanden hatten an Unterschenkel und Unterarm den gleichen $tcPo_2$-Wert, bei 5 Probanden lag er am Unterarm um 3 bis 9 Torr höher. Der Unterschied der Mittelwerte war statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$).

2.1.5 Der Ruhewert während der Untersuchung

Ein Vergleich des Ruhewertplateaus zu Beginn und Ende der Untersuchung zeigt, daß in fast allen Fällen der $tcPo_2$ am Ende der Untersuchung höher liegt. Lediglich bei 2 Patienten am Sternum und bei einem Patienten am Unterschenkel war ein geringer Abfall des Ruhewertplateaus um maximal 4 Torr festzustellen. Da ein Grund für den Anstieg am Unterschenkel in der Drift der Transoxode liegt, wird von driftbereinigten Werten ausgegangen. Es fällt auf, daß der durchschnittliche Anstieg des $tcPo_2$ während der Untersuchung am Unterschenkel der Patienten (Tab. 4) am höchsten ist.

2.2 $tcPo_2$ bei Lageänderung

Die am Sternum gemessenen Werte zeigten keine statistisch signifikante Lageabhängigkeit.

Die am Unterschenkel gemessenen Werte lagen in allen Fällen im Sitzen und Stehen höher als im Liegen. Der Unterschied zum vorangehenden bzw.

Tab. 4: Anstieg des Ruheplateaus im Verlauf der Messung; driftbereinigte Werte

a : Ruhewertplateau (in Torr)
b : Anstieg seit Beginn (in Torr)

	jüngere Gefäßgesunde		ältere Gefäßgesunde Untersch.		ältere Gefäßgesunde Sternum		Patienten Untersch.		Patienten Sternum.	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Ruhewert am Beginn	58,0	-	46,2	-	48,4	-	18,7	-	44,9	-
Ruhewert nach O_2-Atmung	58,8	0,8	44,8	-1,4	50,2	1,8	19,9	1,2	46,0	1,1
Ruhewert nach 3-min. Ischämie	61,4	3,4	50,4	4,2	51,8	3,4	24,9	6,2	47,0	2,1
Ruhewert nach der "Ratschow Probe"	64,6	6,6	51,2	5,0	52,4	4,0	27,0	8,3	48,8	3,9
Ruhewert nach den Kniebeugen	65,4	7,4	54,0	7,8	57,8	9,4	30,7	12,0	52,2	7,3

nachfolgenden Plateau im Liegen war signifikant (jüngere Gefäßgesunde $p < 0,001$; ältere Gefäßgesunde $p < 0,05$; Patienten $p < 0,001$). Der Anstieg bzw. Abfall verlief exponentiell.

Der $tcPo_2$ am Unterschenkel hängt somit von der Körperlage ab.

Der Anstieg bei den Patienten war relativ höher als bei den Gefäßgesunden. Er betrug z. B. beim Übergang vom Liegen zum Stehen 30 Torr bei den Patienten, 15 Torr bei den jüngeren und 20 Torr bei den älteren Gefäßgesunden. Analoge Verhältnisse, lediglich Abfall statt Anstieg, gelten auch für den Übergang vom Sitzen zum Liegen.

Bei niedrigen Werten macht sich der Anstieg des $tcPo_2$ stärker bemerkbar als bei höheren Werten. Dies führte zu geringeren Standardabweichungen des Plateaus im Stehen (Tab. 2).

Jedoch liegen auch im Sitzen und Stehen die Werte Gefäßgesunder signifikant über den Werten der Patienten ($p < 0,001$ für jüngere, $p < 0,01$ für ältere Gefäßgesunde; Tab. 3).

2.3 Sauerstoffatmung

2.3.1 Einfluß des Alters

Der Mittelwert des $tcPo_2$-Plateaus unter Sauerstoffatmung lag bei den jüngeren Gefäßgesunden (106 Torr, $s = 18$ Torr) signifikant ($p < 0,05$) über dem Wert der älteren (71 Torr, $s = 26$ Torr). Dies gilt auch für den durch die Sauerstoffgabe bewirkten Anstieg (45 Torr, $s = 13$ Torr; bzw. 25 Torr, $s = 10$ Torr; $p < 0,05$).

2.3.2 Werte Gefäßkranker am Unterschenkel im Vergleich zu Gefäßgesunden

Der durch die O_2-Gabe bewirkte Anstieg am Unterschenkel der Patienten (10 Torr, $s = 12$ Torr) lag signifikant unter den Werten der jüngeren ($p < 0,001$) bzw. älteren ($p < 0,01$) Gefäßgesunden. Gleiche Verhältnisse

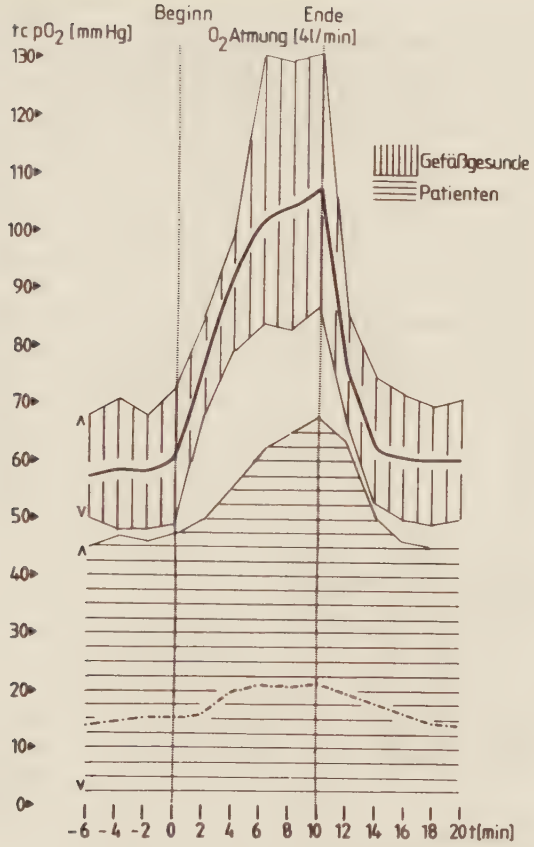


Abb. 2: O_2-Atmung - 11 jüngere Gefäßgesunde, 11 Patienten mit AVK. Durchschnittswerte, sowie Minimalwert und Maximalwert der jeweiligen Probandengruppe

ergeben sich auch für das unter Sauerstoffatmung erreichte $tcPo_2$-Plateau (Abb. 2). Bei den Patienten fällt auf, daß bei einem geringen Ruheplateau ein geringer Anstieg nach O_2-Gabe zu verzeichnen ist und vice versa. Bei einem Ruhewert von O Torr war nur in einem einzigen Fall ein Anstieg des $tcPo_2$ feststellbar.

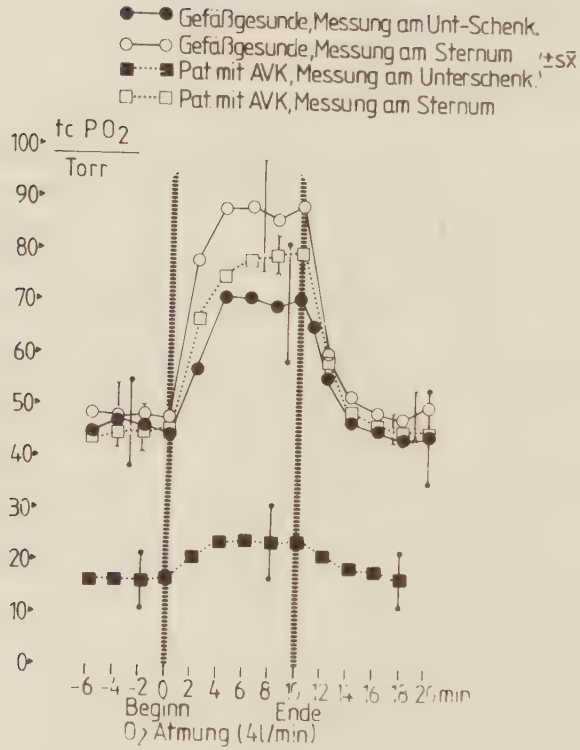


Abb. 3: O_2-Atmung - 5 ältere Gefäßgesunde und 17 Patienten mit AVK; Messung an Unterschenkel und Sternum ($\bar{x} \pm s\bar{x}$)

2.3.3 Ergebnisse am Sternum

Bei den älteren Gefäßgesunden lag der durch die O_2-Atmung bewirkte Anstieg am Sternum höher (40 Torr, s = 14 Torr) als am Unterschenkel (25 Torr, s = 10 Torr) (Abb. 3). Der Unterschied war jedoch nicht signifikant ($0,05 < p < 0,1$). Die erreichten Anstiege am Sternum der Patienten

(35 Torr, s = 13 Torr) entsprechen den Werten der Gefäßgesunden. Das gilt auch für das erreichte Plateau des $tcPo_2$ unter O_2-Atmung (80 Torr, s = 13 Torr gegenüber 88 Torr, s = 24 Torr).

Gegenüber den Werten am Unterschenkel waren die Mittelwerte am Sternum der Patienten signifikant höher ($p < 0,001$).

2.3.4 Schwankungsbreite der gewählten Methode der Sauerstoffgabe

Daß die hier gewählte Methode der offenen O_2-Applikation ungenau ist, geht schon aus den höheren Standardabweichungen des $tcPo_2$ unter O_2-Atmung hervor. Ein Beispiel möge das noch erläutern (Abb. 4).

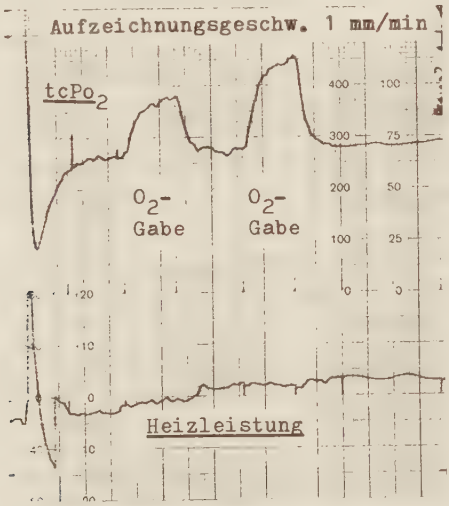


Abb. 4: Sauerstoffatmung: zweimalige Sauerstoffgabe (je 10 min, 4 l/min), Gefäßgesunde Re.

Einer jungen Gefäßgesunden wurde zweimal Sauerstoff von jeweils 4 l/min für 10 Minuten mit 2 gleichen Geräten angeboten, wobei dazwischen das Ruheplateau im Liegen abgewartet wurde. Die Plateauwerte unter O_2-Atmung

differierten erheblich (Plateau 94 Torr bzw. 112 Torr; Anstieg 28 Torr bzw. 46 Torr). Das Ruhewertplateau unter Luftatmung veränderte sich praktisch nicht (66 Torr - 70 Torr).

Die Menge des zugeführten Sauerstoffs ist also nur ungenau zu regulieren, die bewirkte aPo_2-Veränderung nur grob abschätzbar. Es handelt sich also bestenfalls um ein semiquantitatives Verfahren..

2.4 Ischämie mit reaktiver Hyperämie

2.4.1 Einfluß des Alters

Ein Einfluß des Alters war lediglich auf die durchschnittliche Steigung der $tcPo_2$-Kurve beim Wiederanstieg nach dreiminütiger Ischämie nachweisbar ($p < 0,001$). Sie betrug 68 Grad ($s = 5$ Grad) bei den jüngeren und 60 Grad ($s = 2$ Grad) bei den älteren Gefäßgesunden.

Der Unterschied von 3 Sekunden beim Beginn des Wiederanstiegs des $tcPo_2$ nach Ischämie (Tab. 2) entspricht bei der gewählten Aufzeichnungsgeschwindigkeit von 10 mm/min der Ablesegenauigkeit von 0,5 mm (Abb. 5).

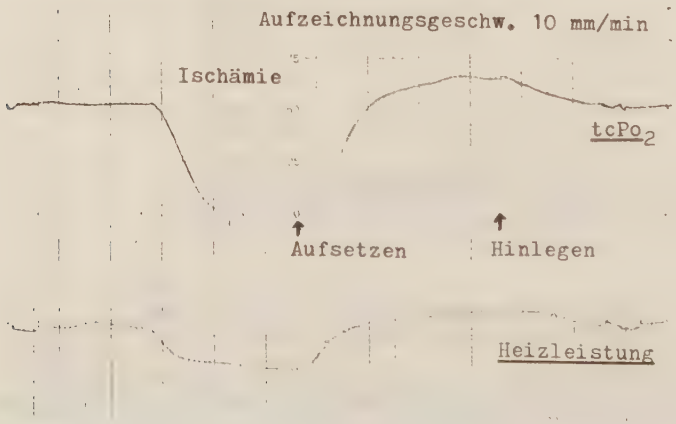


Abb. 5: Originalkurve: Arterielle Drosselung Gefäßgesunder Hü, 23 Jahre

2.4.2 Werte der Gefäßgesunden und Patienten am Unterschenkel

Der Abfall während der Ischämiezeit war bei den Patienten geringer und verlief flacher. Dies entspricht dem niedrigeren Ausgangswert, dem niedrigeren Ruheplateau im Liegen.

Nach dem Lösen der Manschette am Oberschenkel erfolgte der Beginn des Wiederanstiegs bei den Gefäßgesunden spätestens nach 18 sec (Durchschnittswerte: 11 sec (s = 4 sec) bzw. 15 sec (s = 3 sec), bei den Patienten waren es dagegen 54 sec (s = 31 sec). Der Unterschied gegenüber den Gefäßgesunden war hoch signifikant ($p < 0,001$) (Abb. 6).

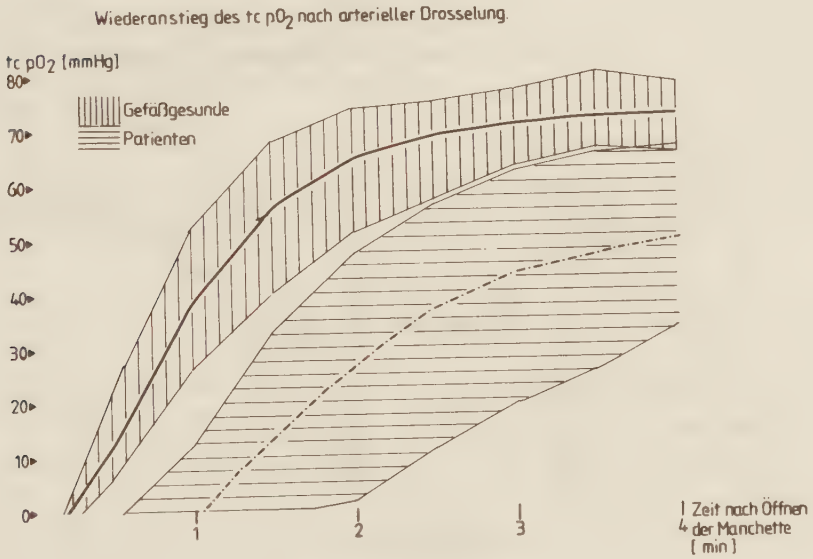


Abb. 6: Wiederanstieg des $tcPo_2$ nach arterieller Drosselung
11 jüngere Gefäßgesunde, 11 Patienten mit AVK.
Durchschnittswerte sowie Minimal- und Maximalwerte der jeweiligen Probandengruppen

Auch die mittlere Steigung der $tcPo_2$-Kurve war bei den Patienten signifikant geringer ($p < 0,001$ gegenüber den jüngeren, $p < 0,05$ gegenüber den älteren Gefäßgesunden).

2.4.3 Ergebnisse am Sternum

Während der Ischämie bzw. dem nachfolgenden Sitzen nahm der $tcPo_2$ am Sternum zu (6 Torr bei den Patienten, 9 Torr bei den Gefäßgesunden) (Abb. 7). Der Anstieg war nicht signifikant.

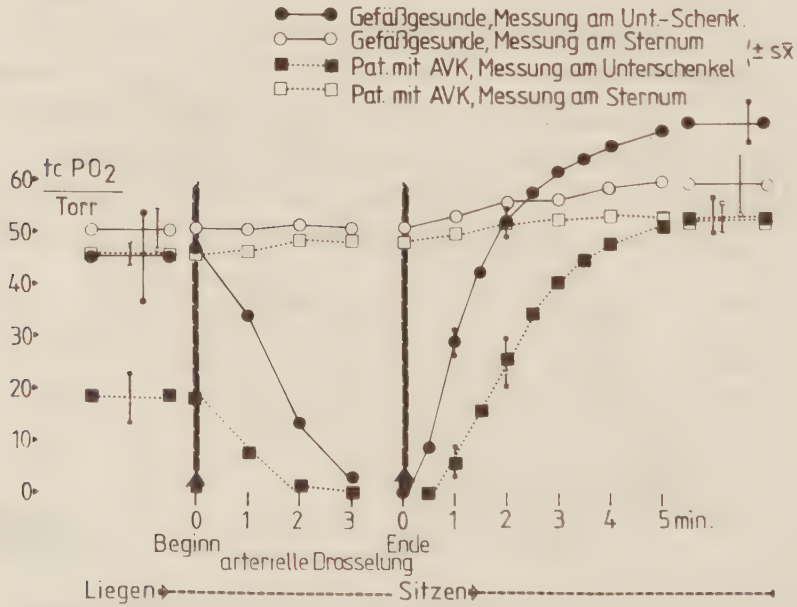


Abb. 7: Arterielle Drosselung
5 ältere Gefäßgesunde und 17 Patienten mit AVK
Messung an Unterschenkel und Sternum ($\bar{x} \pm s\bar{x}$)

2.4.4 Einfluß des Aufsetzens nach der Ischämie

Die Beobachtung der reaktiven Hyperämie erfolgte bei der vorliegenden Untersuchung im Sitzen. Voruntersuchungen zeigten, daß sich so die unterschiedlichen Reaktionen bei Gesunden und Patienten deutlicher darstellen.

Um den Einfluß des Hinsetzens auszuschalten, wurde die Zeit festgehalten, die zwischen dem Öffnen der Manschette und dem Sitzen des Probanden verging. Sie betrug durchschnittlich 20 bzw. 23 sec bei den Gefäßgesunden und 21 sec bei den Patienten (Tab. 2). Es besteht somit kein Zusammenhang mit dem verspäteten Wiederanstieg des $tcPo_2$ bei den Patienten.

2.5 Untersuchung bei Ratschow' scher Rollprobe

2.5.1 Einfluß des Alters

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der jüngeren und älteren Gefäßgesunden war hier nicht nachweisbar (Tab. 3).

2.5.2 Werte der Patienten und Gefäßgesunden am Unterschenkel

Während des Hochhebens der Beine und der Plantar- und Dorsalflexion im Sprunggelenk fiel der $tcPo_2$ ab. Der Abfall bis zum erreichten Minimum betrug bei den jüngeren Gefäßgesunden 22 Torr (s = 12 Torr) bei den älteren 16 Torr (s = 7 Torr) und bei den Patienten 15 Torr (s = 13 Torr). Ein Unterschied ist, vor allem auch in Anbetracht der großen Streubreiten nicht nachweisbar.

Bei den Patienten wurde diese Übung nur bis zum Auftreten von Schmerzen, längstens aber 2 min durchgeführt. Sie mußte durchschnittlich nach 1,4 min abgebrochen werden.

Der erreichte Minimalwert lag bei den Patienten signifikant niedriger als bei den Gefäßgesunden ($p < 0,001$). Dies ist mit durch den niedrigeren Ausgangswert, das niedrigere Ruheplateau im Liegen bedingt.

Bei den meisten Gefäßgesunden (9 von 11 jüngeren, 4 von 5 älteren) war nach 1,5 min praktisch kein Abfall mehr feststellbar. Der Wiederanstieg begann bei erhobenen Beinen durchschnittlich 12 sec ($s = 14$ sec) vor Beendigung der Ratschow' schen Probe (= 108 sec nach Beginn).

Bei den Patienten erfolgte der Wiederanstieg des $tcPo_2$ durchschnittlich erst 47 sec ($s = 37$ sec) nach Beendigung der Ratschow' schen Probe (= 131 sec nach dem Beginn). Der Unterschied zu den Gefäßgesunden war hochsignifikant ($p < 0,001$).

Auch das anschließend beim Sitzen erreichte Plateau war bei den Gefäßgesunden signifikant höher ($p < 0,001$ bzw. $p < 0,01$).

2.5.3 Ergebnisse am Sternum

Während und nach Beendigung der Ratschow' schen Probe stieg der $tcPo_2$ am Sternum im Durchschnitt an; qualitativ und in etwa auch quantitativ entsprach dies dem Verhalten des $tcPo_2$ am Sternum während und nach der dreiminütigen Ischämie.

2.6 Kniebeugen

2.6.1 Einfluß des Alters

Ein Einfluß des Alters auf das Verhalten des $tcPo_2$ während der Kniebeugen ist bei den Gefäßgesunden nicht nachweisbar (Tab. 3).

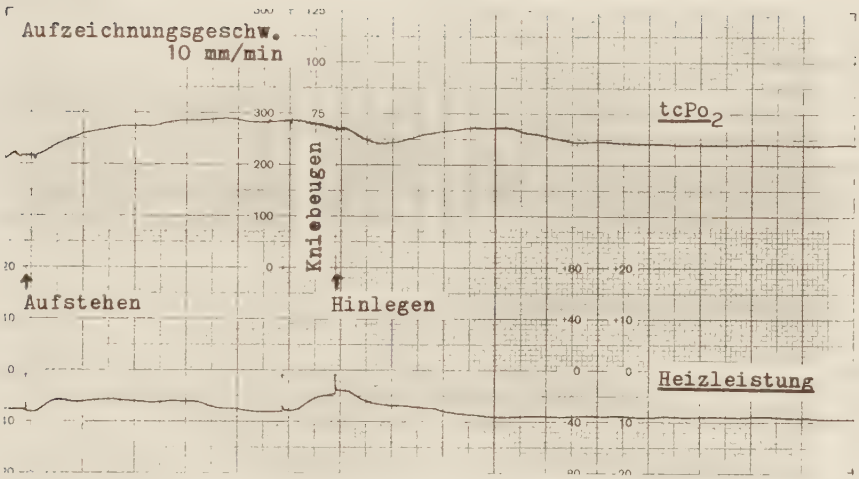


Abb. 8: Originalkurve Kniebeugen: Gefäßgesunder Fn (62 Jahre)

2.6.2 Werte Gefäßkranker am Unterschenkel im Vergleich zu Gefäßgesunden

Das Plateau im Stehen vor den Kniebeugen lag bei den Gefäßgesunden signifikant höher ($p < 0,001$.

Der durchschnittliche Abfall während einer Minute Kniebeugen betrug bei den jüngeren Gefäßgesunden 3,7 Torr ($s = 1,8$ Torr), bei den älteren 3,6 Torr ($s = 3,8$ Torr) und bei den Patienten 7,1 Torr ($s = 4,5$ Torr). Der Unterschied zu den jüngeren Gefäßgesunden war signifikant ($p < 0,01$), der zu den älteren nicht. Die rhythmischen Schwankungen des $tcPo_2$ während der Kniebeugen ($\pm$ 0,5 Torr) (Abb. 8) sind durch die Kabelbewegung bedingt (Kapazitive Änderungen der Meßleitung (STOSSECK (69).

Nach Beendigung der Kniebeugen, also nach dem Hinlegen, setzte sich der Abfall des $tcPo_2$ verstärkt fort. Bei den älteren Gefäßgesunden wurde

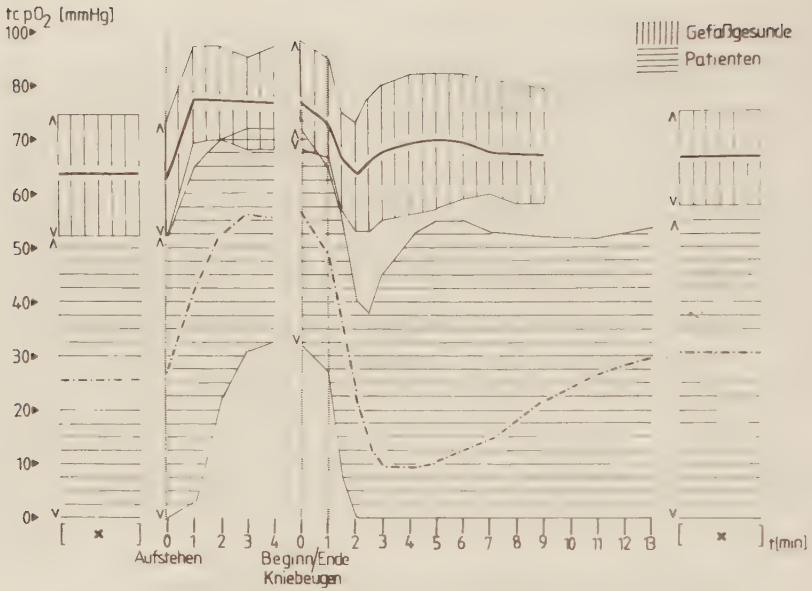


Abb. 9: Kniebeugen: 11 jüngere Gefäßgesunde und 11 Patienten mit AVK. Durchschnittswerte sowie Minimal- und Maximalwerte der jeweiligen Probandengruppe

nach durchschnittlich 1,1 min (0,9 - 1,6 min) das Minimum von 62 Torr (s = 12 Torr) erreicht. Bei den jüngeren dauerte es 1 min (0,9 - 1,2 min) bevor der $tcPo_2$ auf das Minimum von 63 Torr (s = 8 Torr) fiel. Anschließend kam es bei allen Gefäßgesunden zu einem Anstieg, bevor schließlich der Ruhewert erreicht wurde (Abb. 9 u. 10).

Demgegenüber zeigte die $tcPo_2$-Kurve bei den Gefäßkranken ein ganz anderes Reaktionsprofil. Der Abfall des $tcPo_2$ war stärker ausgeprägt, der Minimalwert von durchschnittlich 12 Torr (s = 21 Torr) wurde erst nach 2 min (s 8 sec) erreicht, das Einpendeln auf den anschließenden Ruhewert von 32 Torr (s = 24 Torr) dauerte länger. Bei 19 Patienten wurde ein Minimalwert von 0 Torr erreicht.

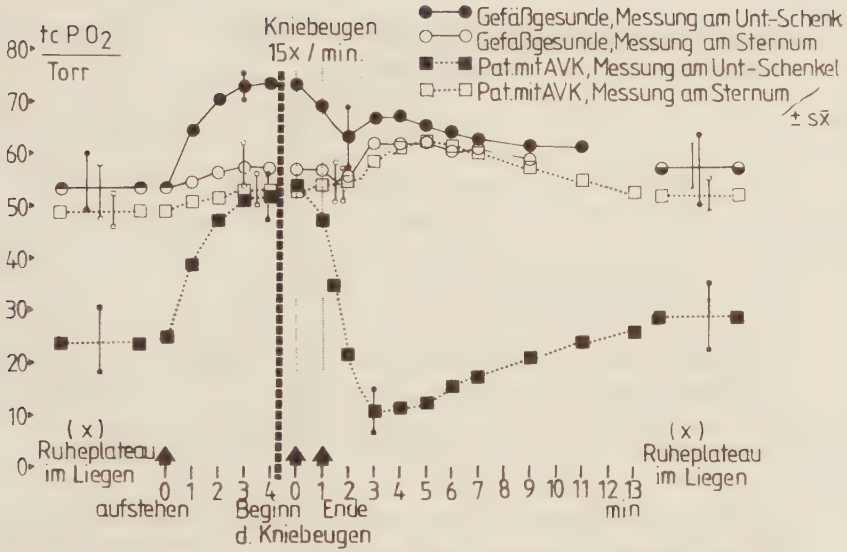


Abb. 10: Kniebeugen: 5 ältere Gefäßgesunde und 17 Patienten mit AVK; Messungen an Unterschenkel und Sternum ($\bar{x} \pm s\bar{x}$).

2.6.4 Der $tcPo_2$ am Sternum

In der Abbildung 10 ist der durchschnittliche Verlauf des $tcPo_2$ am Sternum für 5 Gefäßgesunde und die 17 Patienten wiedergegeben. Der Parallelverlauf der Durchschnittswerte ist ersichtlich.

Deutlich erkennt man den 0, 5 bis 1 Minute nach den Kniebeugen beginnenden Anstieg und den anschließenden Abfall auf das Ruheplateau im Liegen.

Während der Kniebeugen ist, im Gegensatz zu dem $tcPo_2$ am Unterschenkel, durchschnittlich kein Abfall feststellbar. Ein kleines, relatives Minimum 0, 5 bis 2 Minuten nach Beginn der Belastung, war in der Mehrzahl der

Fälle erkennbar (5 Gefäßgesunde, 13 Patienten); allerdings mit zeitlich und quantitativ unterschiedlicher Ausprägung.

Der Verlauf entspricht dem von HUCH et al. (38, 43) beschriebenen Verhalten des $tcPo_2$ nach einer Belastung.

3. Korrelation der schmerzfreien Gehstrecke mit den Ergebnissen der $tcPo_2$-Messung

3.1 Ermittlung der schmerzfreien Gehstrecke

Die Ermittlung der schmerzfreien Gehstrecke erfolgte auf dem Laufbandergometer (Steigung 12, 5 %, Geschwindigkeit 3 km/h). Sie wurde nicht selbst durchgeführt, sondern den Krankengeschichten entnommen.

War die Überprüfung der schmerzfreien Gehstrecke bei den Patienten mehrmals vorgenommen worden, so wurde die der $tcPo_2$-Messung zeitlich am nächsten liegende Messung herangezogen, bzw. bei mehreren zeitlich in etwa gleichweit entfernten, das arithmetische Mittel.

Die Laufstrecke konnte so von 26 der 29 Patienten ermittelt werden; hinzu kam noch die bei 10 von 15 Patienten auch postoperativ überprüfte Gehstrecke. Somit konnten jeweils 36 Wertepaare für die Errechnung des Korrelationskoeffizienten (r) herangezogen werden.

3.2 Der Korrelationskoeffizient

Eine Übersicht über die durchgeführten Korrelationen und die Signifikanz mit der die Nullhypothese $H_o : r = 0$ abgelehnt werden konnte, gibt Tab. 5.

Der Korrelationskoeffizient r liegt für die angegebenen $tcPo_2$-Ergebnisse zwischen 0, 42 und 0, 65, das Signifikanzniveau zwischen $p < 0,05$ und $p < 0,001$.

Tab. 5: Korrelation der $tcPo_2$-Ergebnisse mit der schmerzfreien Gehstrecke der Patienten

r - Korrelationskoeffizient
n - Anzahl der Wertepaare
p - Signifikanz für r = O

Korrelation der Gehstrecke mit:	r	n	p
$tcPo_2$-Ruhewert am Beginn	0,44	36	$p < 0,01$
$tcPo_2$-Ruhewert nach den Kniebeugen	0,42	36	$p < 0,05$
$tcPo_2$-Anstieg auf O_2-Gabe	0,48	36	$p < 0,01$
Beginn des Wiederanstiegs nach dreiminütiger Ischämie	-0,53	36	$p < 0,001$
Beginn des Wiederanstiegs nach dem Ende der "Ratschow Probe"	-0,43	35	$p < 0,01$
$tcPo_2$-Plateau im Stehen	0,43	36	$p < 0,01$
$tcPo_2$-Minimum nach den Kniebeugen	0,65	36	$p < 0,001$

Eine besonders gute Korrelation ergibt sich mit dem Beginn des Wiederanstiegs nach dreiminütiger Ischämie ($r = - 0,53$) und dem Minimum des $tcPo_2$ nach den Kniebeugen ($r = 0,65$).

4. Die Heizleistung

4.1 Die Auswirkungen der Schaumstoffauflage

4.1.1 Ruhelage

Der durch die Schaumstoffauflage erzielte Abfall der relativen Heizleistung lag zwischen 30 ‰ und 80 ‰ ($\bar{x}$ = 52 ‰, s = 11 ‰) des Heizleistungsgrundwertes.

Er war damit höher als alle Veränderungen, die gleich ob mit oder ohne Schaumstoffauflage im Verlauf der Untersuchung zu verzeichnen waren. Dies deutet schon auf den großen Einfluß hin, den der durch die Umgebung bedingte Wärmeverlust auf die Heizleistung ausübt.

4.1.2 Nach der dreiminütigen Ischämie

Bei den Patienten ohne Schaumstoffauflage auf der Meßelektrode erfolgte der Beginn des Anstiegs der Heizleistung mit dem Aufsetzen, unabhängig vom Beginn des $tcPo_2$-Anstiegs. Dagegen erfolgte der Anstieg der Heizleistung bei den Probanden mit "isolierter" Transoxode in vielen Fällen später; in der Hälfte der Fälle parallel zum $tcPo_2$-Anstieg. Die durchschnittliche Steigung der Heizleistungskurve war signifikant geringer ($p < 0,01$).

4.1.3 Während der Kniebeugen

Während der Kniebeugen (1 min) stieg die Heizleistung bei der Messung ohne Schaumstoffauflage bei den Gefäßgesunden um durchschnittlich 19 ‰ (s = 9 ‰), bei den Patienten um 18 ‰ (s = 12 ‰).

Mit Schaumstoffauflage waren es 10 ‰ (s = 5 ‰) bzw. 4 ‰ (s = 6 ‰).

Zwischen Patienten und Gefäßgesunden bestand kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$). Dagegen war der Anstieg während der Kniebeugen bei den

Patienten mit "isolierter" Transoxode niedriger als bei den Patienten ohne Schaumstoffauflage ($p < 0,01$). Dies gilt auch für Gefäßgesunde ($p < 0,05$).

4.1.4 Schlußfolgerungen

Diese Ergebnisse zeigen, daß im Verlauf des hier gewählten Untersuchungsprogrammes die Änderungen des Wärmeverlustes durch die Umgebung, die etwaigen Änderungen der Heizleistung durch Veränderungen des lokalen Flusses unter der Transoxode, quantitativ überwiegen.

Vor allem bei Belastungsproben, die mit einem Lagewechsel verbunden sind (Luftzug), ist dieser Faktor ausschlaggebend. Will man bei der vorliegenden Untersuchung einen Unterschied zwischen Patienten und Gefäßgesunden aufzeigen, so ist die Auswertung der Heizleistung nur für Belastungsproben sinnvoll, die nicht mit einem Lagewechsel verbunden sind. Diese Voraussetzung ist in Ruhelage und während der dreiminütigen Ischämie erfüllt.

4.2 Die Heizleistung bei Patienten und Gefäßgesunden

4.2.1 Die Heizleistung in Ruhelage

Ein signifikanter Unterschied der mittleren Heizleistung in Ruhelage zwischen Patienten und Gefäßgesunden war nicht feststellbar. Gleiches gilt auch für Änderungen im Verlauf der Messung (in Ruhelage) und während der Sauerstoffatmung. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Heizleistung vor Schaumstoffauflage auf die Transoxode signifikant höher liegt ($p < 0,001$).

4.2.2 Die Heizleistung während der dreiminütigen Ischämie

Der Abfall während der dreiminütigen Ischämie betrug bei den mit "isolierter" Transoxode gemessenen Patienten 18 %o, bei der anderen Patientengruppe waren es 17 %o. Bei den Gefäßgesunden waren es 37 %o bzw. 28 %o; ein signifikanter Unterschied bestand nicht.

Dagegen war der Unterschied zwischen Patienten und Gefäßgesunden signifikant ($p < 0,001$).

Betrachtet man die Ergebnisse der Patienten im einzelnen, so fällt auf, daß die Patienten mit einem unmittelbar vorangehenden $tcPo_2$-Ruhewert von O Torr einen geringeren Heizleistungsabfall aufweisen. 7 der 10 Patienten hatten einen Abfall zwischen 0 %o (Pat. A.Z.) und 14 %o, ein Patient hatte 17 %o (Pat. A.K.), zwei weitere 21 %o (Pat. A.S.) bzw. 30 %o (W.G.). Interessanterweise zeigt der $tcPo_2$ nur bei den drei letztgenannten Patienten im weiteren Untersuchungsverlauf einen Anstieg zwischen 6 und 25 Torr, bei den sieben anderen bleibt er dagegen bis zum Schluß auf O Torr.

Diesen Zusammenhang zwischen Heizleistungsabfall während der Ischämiezeit und dem $tcPo_2$-Wert in Ruhelage zeigt auch der Korrelationskoeffizient dieser beiden Größen. Er errechnete sich für die 43 Wertepaare zu $r = 0,78$ und war damit hochsignifikant von O verschieden ($p < 0,001$). Bei hohem $tcPo_2$ war somit in der Regel ein größerer Abfall der Heizleistung feststellbar und umgekehrt. Die Annahme, bei hohem $tcPo_2$ ist der die Heizleistung beeinflussende Blutstrom größer, erscheint gerechtfertigt. Die Ergebnisse zeigen, daß die niedrigeren $tcPo_2$-Werte der Patienten zumindest teilweise durch eine Minderperfusion bedingt sind.

Es sei noch erwähnt, daß die Heizleistung von der Durchblutung eines weit größeren Gewebebezirkes (mehrere 100 mm^3) beeinflußt wird als der $tcPo_2$ (10^{-2} - 10^{-3} mm^3) (STOSSECK (69). Die Ergebnisse bestätigen, daß zwischen beiden Strömungsgebieten ein Zusammenhang besteht.

Vergleicht man die Gesamtheizleistung in Ruhelage (mit Schaumstoff um 200 %o) mit dem durch die arterielle Drosselung herbeigeführten Abfall der Heizleistung (28 bzw. 37 %o bei den Gefäßgesunden), so erkennt man, daß ein weit größerer Wärmeverlust durch ruhendes Gewebe und durch die Umgebung verursacht wurde, als durch die kühlende Wirkung des strömenden Blutes.

SEVERINGHAUS et al. (64) schlossen daraus, daß die Heizleistung selbst unter idealen Bedingungen nur von begrenztem Wert für die Beurteilung der Durchblutung sei. Sie erhielten bei einer beheizten Bedeckung der Meßelektrode einen durch die arterielle Sperre induzierten Abfall von ca. 30 % der Heizleistung.

Auch der Vergleich mit diesem Ergebnis zeigt, daß die hier verwendete Isolierung gegenüber den Einflüssen der Umgebung nicht optimal ist.

III. ERGEBNISSE BEI DEN PATIENTEN VOR UND NACH EINER OPERATIVEN GEFÄSSREKONSTRUKTION

1. Anamnese, klinische Untersuchung

Vor Beginn der $tcPo_2$-Messung bei den 15 Patienten erfolgte die Erhebung der Anamnese und des Gefäßstatus der unteren Extremitäten. Die Daten wurden anhand der Krankengeschichten ergänzt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 6 enthalten. Von den Risikofaktoren sind die vier wichtigsten - Hypertonie, Hyperlipidämie, Diabetes mellitus und Zigarettenrauchen - in der Tabelle aufgeführt.

Deutlich zeichnet sich der doch bei fast allen Patienten bestehende Nikotinabusus ab (KRIESEL (49), SCHOOP (65).

Tab. 6: Klinische Daten und Angaben zur $tcPo_2$ - Messung

Pat	-	Patienten
A	-	Alter (Jahre)
Gew	-	Gewicht (kg)
Gr	-	Größe (cm)
D	-	Diabetes
HL	-	Hyperlipidämie
H	-	Hypertonie
Z	-	Zigarettenrauchen (Anzahl pro Tag/ Dauer in Jahren)
H/A	-	Der Patient hatte bereits einen Herzinfarkt und/oder leidet an Angina pectoris
Ap	-	Der Patient hatte bereits einen Apoplex
V	-	Varizen
Ö	-	Ödeme
R	-	Ruheschmerzen
F	-	Stadium nach Fontaine-Ratschow
S	-	Seite der Anlage der $tcPo_2$ Messung (rechts/links)
Pulse	-	tastbare Pulse am untersuchten Bein (Reihenfolge: A.fem.sup., A. popl., A.tib.post., A.tib. ant.) vor/nach der Operation
G.v.	-	Schmerzfreie Gehstrecke (Laufbandergometer) vor der Operation (m)
G.n.	-	Schmerzfreie Gehstrecke (Laufbandergometer) nach der Operation (m)
Op	-	Art der durchgeführten Operation
Tage	-	Anzahl der Tage zwischen der $tcPo_2$ Messung vor/nach der Operation und dem Tag der Operation

Pat.	Risikofaktoren											
	A	Gew	Gr	D	HL	H	Z	H/A	Ap	V	Ö	R	F
J.K.	66	61	171	+			30/30						II,b
G.K.	66	73	163			+	50/40	+	+				II,b
H.G.	64	87	171				10/20	+					II,b
E.H.	63	90	176	+			20/40			+			II,b
J.S.	58	66	167				20/40	+				+	III
A.L.	62	73	175	+	+		40/40						II,a
A.K.	50	70	170				20/35						II,b
A.Z.	55	65	168				10/40					+	III
K.S.	61	60	174				40/40						II,b
J.Kr.	54	93	178				20/40	+		+	+		II,b
H.S.	53	81	177	+	+		0			+		+	IV
W.G.	63	83	178				20/50				+	+	IV
S.B.	49	75	171				25/30		+				II,v
K.G.	56	81	174				10/20			+	+		II,b
H.R.	50	65	169	+			25/30	+					IV

		Pulse		Tage				
Pat.	S	v.Op.	n.Op.	v.Op.	n.Op.	G.v.	G.n.	Op.
J.K.	li	+---	++++	1	15	146	207	aorto-bifemoraler-bypass
G.K.	re	+---	++++	62	12	128	598	aorto-bifemoraler-bypass
H.G.	li	----	+---	46	21	44	275	aorto-bifemoraler-bypass
E.H.	re	+---	+-++	11	10	130	325	femoro-femoraler-bypass rechts
J.S.	li	+---	+-+-	5	10	160	172	iliaco-femoraler-bypass links
A.L.	li	++--	++-+	1	18	-	-	aorto-bifemoraler-bypass
A.K.	li	----	+--+	6	9	70	177	aorto-bifemoraler-bypass
A.Z.	re	----	++++	5	14	18	600	aorto-bifemoraler-bypass
K.S.	re	----	+---	7	13	160		aorto-bifemoraler-bypass
J.Kr.	li	----	++++	4	32	57	226	aorto-bifemoraler-bypass
H.S.	li	+---	+---	4	28	60	-	Iliaco-femoralis profunda-bypass li u. Sympathektomie
W.G.	re	----	+----	3	14	wenige	-	Iliaco-femoralis profunda-bypass re u. Sympathektomie
S.B.	li	----	+++-	2	10	86	300	aorto-bifemoraler-bypass
K.G.	re	----	+---	2	8	24	-	iliaco-femoraler-bypass re
H.R.	li	----	++++	2	53	14	117	aorto-bifemoraler-bypass

Die klinischen Befunde waren nach der Operation verbessert; die peripheren Pulse waren in vielen Fällen tastbar. Die Untersuchung auf dem Laufbandergometer ergab eine Verlängerung der schmerzfreien Gehstrecke.

2. Angiogramme

Die vor und nach der gefäßchirurgischen Operation aufgenommenen Angiogramme der Patienten wurden ohne Kenntnis der Ergebnisse der $tcPo_2$-Messung anhand eines Schemas ausgewertet. Für jede untere Extremität wurden die vier Gefäßgebiete - Aa. iliacae, A. femoralis superficialis, A. femoralis profunda, Arterien des Unterschenkels - getrennt durch je 2 Ziffern bewertet. Mit der ersten Ziffer wurden die Gefäßlumina beurteilt, die zweite Ziffer gab die Qualität der kollateralen Überbrückung an.

Die Kriterien der Einteilung sind in Abb. 11 aufgeführt. Die Ergebnisse für die 15 Patienten sind in der Tabelle 7 enthalten.

Es ist jeweils nur die Seite angegeben, an der die $tcPo_2$-Messung erfolgte.

3. Überblick über die $tcPo_2$-Ergebnisse

Bei den Patienten wurde das bekannte Untersuchungsprogramm jeweils vor und nach einer operativen Gefäßrekonstruktion durchgeführt. Die Wiedergabe der für den $tcPo_2$-Verlauf charakteristischen Werte erfolgt in der Tabelle 2. Der Verlauf der Durchschnittswerte während arterieller Drosselung, O_2-Atmung und Kniebeugen ist den Abbildungen 13, 14 und 16 zu entnehmen. Man erkennt, daß sich nach der Operation die erhaltenen Werte zum Bereich der Gesunden hin verbessert haben.

Die statistische Absicherung erfolgte mit Hilfe des t-Testes. Die Nullhypothese, die Mittelwerte der jeweiligen Messung haben sich nicht verändert, konnte mit den in der Tabelle 8 angegebenen Irrtumswahrscheinlichkeiten abgelehnt werden.

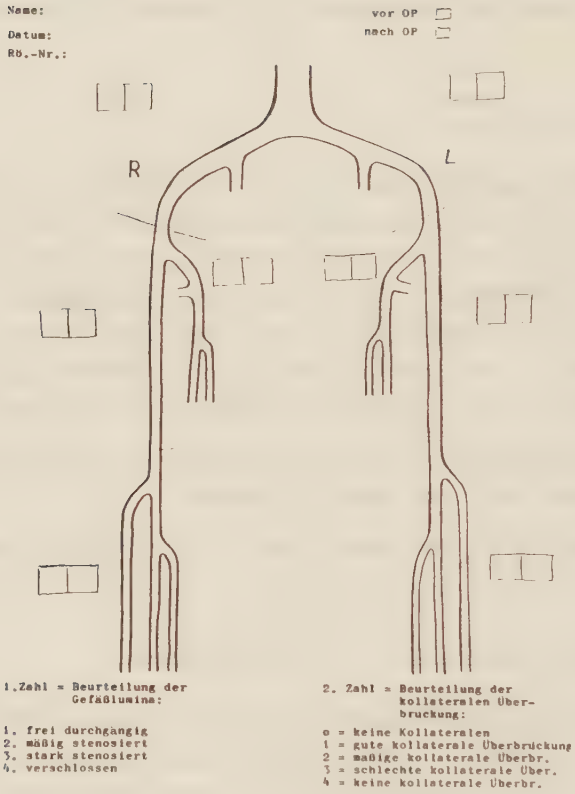


Abb. 11: Schema zur Auswertung der Angiogramme

Der gleiche Signifikanztest wurde auch gegenüber einer Gruppe gleichaltriger Gefäßgesunder durchgeführt. Die Ergebnisse dieser statistischen Auswertung sind gleichfalls in Tabelle 8 enthalten.

Fur den statistischen Vergleich wurden die 14 Patienten herangezogen, bei

Tab. 7: Ergebnisse der Auswertung der Angiogramme

Die Angaben erfolgen für die vier Gefäßgebiete in der Reihenfolge:

a) Aa. iliacae
b) A.femoralis superficialis
c) A. femoralis profunda
d) Unterschenkelgefäße.

Die erste Ziffer gibt eine Beurteilung der Gefäßlumina, die zweite Ziffer eine Beurteilung der kollateralen Überbrückung. Die Bedeutung der Ziffern ist in Abb. 13 angegeben.

Patient	Angiogramm vor der Operation				Angiogramm nach der Operation			
	a)	b)	c)	d)	a)	b)	c)	d)
H.R.(li)	(4-1,	1-0,	1-0,	1-0)	(1-0,	1-0,	1-0,	1-0)
S.B.(li)	(4-3,	1-0,	1-0,	1,0)	(1-0,	1-0,	1-0,	1-0)
A.Z.(re)	(4-4,	2-0,	1-0,	1,0)	(1-0,	1-0,	1-0,	1-0)
J.K. (li)	(3-3,	1-0,	1-0,	flau)	(1-0,	1-0,	1-0,	1-0)
E.H. (re)	(2- ,	3- ,	3- ,	3-)	(2-0,	1-0,	3-0,	3-3)
H.G. (li)	(4-1,	4-2,	4-1,	2-0)	(1-0,	4-1,	1-0,	2-0)
A.K.(li)	(3-0,	4-1,	1-0,	1-0)	(1-0,	4-1,	1-0,	1-0)
K.S. (re)	(4-1,	4-1,	4-2,	1-0)	(1-0,	4-1,	1-0,	1-0)
A.L. (li)	(3- ,	3- ,	1- ,	2-)	(1-0,	3-3,	2-0,	2-0)
J.Kr. (li)	(3-2,	4-1,	1-0,	2-0)	(1-0,	4-1,	1-0,	2-0)
G.K. (re)	(4-1,	3-2,	3-1,	1-0)	(1-0,	3-2,	3-1,	flau)
K.G. (re)	(4-1,	4-1,	4-1,	4-3)	(1-0,	4-1,	1-0,	3-2)
W.G. (re)	(4-1,	4-2,	1-0,	4-2)	(1-2,	4-2,	1-0,	4-2)
J.S. (li)	(2-2,	4-2,	3-2,	4-2)	(1-0,	4-2,	1-0,	4-2)
H.S. (li)	(2-3,	4-1,	3-3,	4-1)	(1-0,	4-1,	1-0,	4-1)

Tab. 8: Statistische Auswertung (t - Test)

Signifikanzgrenzen sind angegeben für den Vergleich von:

a) Patienten vor und nach der Operation
b) Patienten vor der Operation mit 5 gleichaltrigen Gefäßgesunden
c) Patienten nach der Operation mit 5 gleichaltrigen Gefäßgesunden

	a	b	c
Ruhewert am Beginn	$p < 0,01$	$p < 0,05$	keine Sign.
Ruhewert nach O_2-Gabe	$p < 0,05$	$p < 0,05$	keine Sign.
Ruhewert nach 3min.Ischaem. mit reaktiver Hyperämie	$p < 0,05$	$p < 0,05$	keine Sign.
Ruhewert nach "Ratschow"	$p < 0,05$	$p < 0,05$	keine Sign.
Ruhewert nach Kniebeugen	$p < 0,05$	$p < 0,05$	keine Sign.
Wert im Sitzen nach 3min. Ischaemie	keine Sign.	$p < 0,05$	keine Sign.
Wert im Sitzen nach "Ratschow"	keine Sign.	$p < 0,05$	keine Sign.
Wert im Stehen vor den Kniebeugen	keine Sign.	$p < 0,05$	keine Sign.
Plateau unter O_2 Atmung	$p < 0,01$	$p < 0,05$	keine Sign.
Beginn des Wiederanstiegs nach Ende der 3min. Ischämie	$p < 0,01$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Minimum nach der "Ratschow Probe"	$p < 0,05$	$p < 0,05$	keine Sign.
Abfall während der "Ratschow Probe"	keine Sign.	keine Sign.	keine Sign.
Beginn des Wiederanstiegs nach Ende der "Ratschow Probe"	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
Abfall während einer min. Kniebeugen	$p < 0,01$	keine Sign.	keine Sign.
tiefster Wert nach den Kniebeugen	$p < 0,001$	$p < 0,001$	keine Sign.

denen sich nach der Operation eine Verbesserung der Durchblutungsverhältnisse am Unterschenkel angiographisch und klinisch ergab. Bei dem Patienten H.S. war dies nicht der Fall. Die doch erhebliche Verschlechterung der $tcPo_2$-Meßwerte entspricht dem klinischen Bild nach der Operation (vgl. D) III. 7.2, Fallbeispiele, Patient H.S.). Er blieb deshalb bei der Auswertung unberücksichtigt.

4. Der $tcPo_2$ bei den einzelnen Teilbereichen der Untersuchung

4.1 Ruhewertplateau im Liegen

Die Ruhewerte im Liegen waren nach der Operation signifikant höher ($p < 0,05$) als vor der Operation (Abb. 12).

Während der Durchschnitt vor der Operation am Beginn der Messungen 19 Torr ($s = 21$ Torr) betrug, waren es nach der Operation 37 Torr ($s = 15$ Torr). Dies liegt zwar noch unter dem Vergleichswert der älteren Gefäßgesunden (46 Torr, $s = 18$ Torr); dieser Unterschied ist jedoch nicht mehr signifikant ($p > 0,05$).

4.2 $tcPo_2$ bei Lageänderung

Wie bereits aufgezeigt, steigt der $tcPo_2$ am Unterschenkel beim Aufstehen und Aufsetzen an. So lag das Plateau im Stehen vor der Operation bei 62 Torr ($s = 15$ Torr), nach der Operation waren es 70 Torr ($s = 11$ Torr). Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$). Da das Ausgangsplateau im Liegen vor der Operation niedriger war, war der Anstieg vor der Operation größer (32 Torr) als nach der Operation (22 Torr). Gleiche Verhältnisse bestehen auch für die $tcPo_2$-Werte

im Sitzen, obwohl hier eine dreiminütige Ischämie oder eine Muskeltätigkeit (Ratschow Probe) vorausgehen.

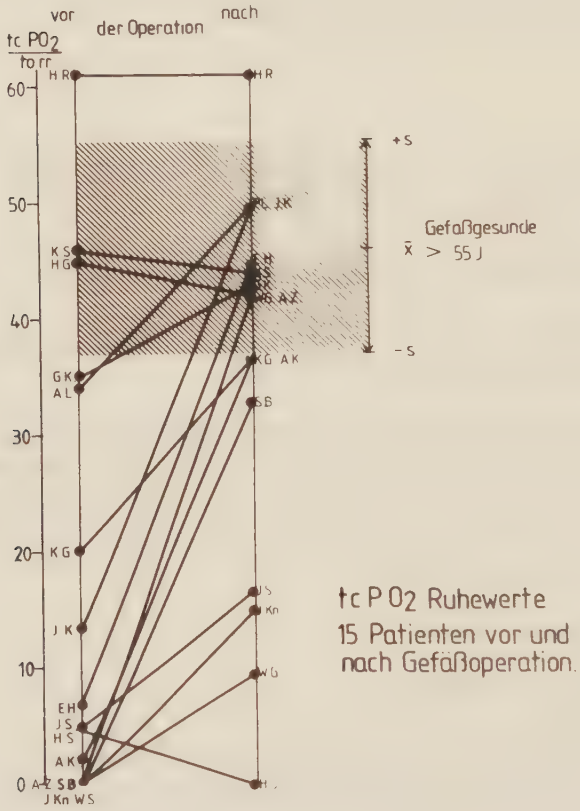


Abb. 12: $tcPo_2$- Ruhewert am Beginn; 15 Patienten vor und nach der operativen Gefäßrekonstruktion

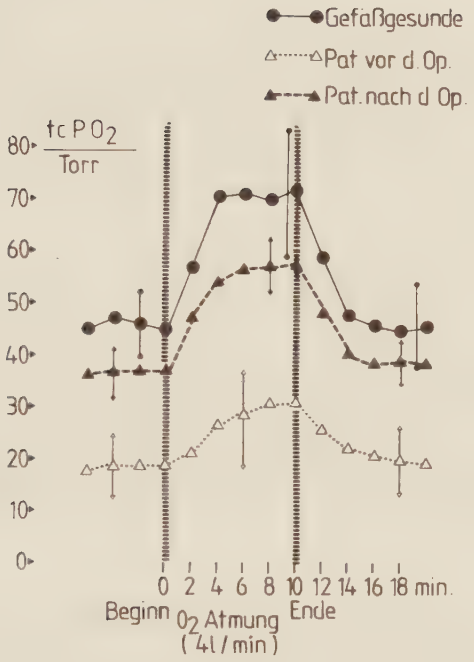


Abb. 13: O_2-Atmung: 14 Patienten vor und nach der operativen Gefäßrekonstruktion; 5 gleichaltrige Gefäßgesunde; Durchschnittswerte ($\pm$ $s\bar{x}$)

4.3 Sauerstoffatmung

Das Plateau während der Sauerstoffatmung (4 l/min) betrug vor der Operation 31 Torr (s = 31 Torr), nach der Operation waren es 58 Torr (s = 18 Torr). Der Unterschied war signifikant ($p < 0,001$). Im Vergleich mit dem Plateau der gleichaltrigen Gefäßgesunden (71 Torr, s = 26 Torr) ergab sich bei den Patienten nach der Operation kein statistisch gesicherter Unterschied ($p > 0,05$) (Abb. 13).

Will man den Einfluß des nach der Operation höheren Plateaus des $tcPo_2$ im Liegen ausschalten, kann man den durch die O_2-Atmung bewirkten Anstieg des $tcPo_2$ (= Differenz zwischen O_2-Plateau und Ruheplateau vor Beginn der O_2-Atmung) betrachten. Auch hier liegt der durchschnittliche Anstieg nach der Operation höher (20 Torr) als vor der Operation (11 Torr). Der Anstieg betrug bei den gleichaltrigen Gefäßgesunden 25 Torr (s = 10 Torr).

Betrachtet man nun die Ergebnisse der Patienten im einzelnen, so erkennt man, daß bei 7 Patienten bereits vor der Operation Anstiege über 14 Torr erreicht wurden. Sie liegen also innerhalb der Schwankungsbreite der Ergebnisse Gefäßgesunder. Der durchschnittliche Anstieg bei diesen 7 Patienten vor der Operation betrug 21 Torr. Nach der Operation waren es 19 Torr. Hier lag also vor und nach der Operation in etwa der gleiche Anstieg vor. Die Schwankungen im Einzelfall ergeben sich aus der Streubreite der angewandten Methode. Insbesondere ist ein Zusammenhang mit dem Angiogramm oder der Gehstrecke hier nicht nachweisbar.

Die anderen 8 Patienten hatten vor der Operation keinen oder nur einen geringen Anstieg des $tcPo_2$ unter O_2-Atmung zu verzeichnen. Nach der Operation entsprach der Anstieg bei 5 Patienten den Werten Gefäßgesunder (Anstieg zwischen 17 und 43 Torr). Bei 3 Patienten lag der Anstieg vor und nach der Operation unter 11 Torr. Zu diesen 3 Patienten gehört der Patient H.S. . Hier erklärt der Krankheitsverlauf das Verhalten des $tcPo_2$. Bei den 2 restlichen Patienten (J.K., E.H.) fehlt eine Erklärungsmöglichkeit.

Das Verhalten des $tcPo_2$ unter O_2-Atmung ist somit nicht als Kriterium eines Therapieerfolges geeignet.

4.4 Ischämie mit reaktiver Hyperämie

Während der dreiminütigen Ischämie fiel der $tcPo_2$ vor und nach der Operation bei allen Patienten auf O Torr. Der Beginn des Wiederanstiegs des $tcPo_2$ im Sitzen, nach dem Öffnen der Manschette am Oberschenkel, erfolgte vor der Operation nach 46 sec (s = 20 sec). Nach der Operation waren es 29 sec (s = 14 sec). Der Unterschied war statistisch signifikant ($p < 0,01$). Im Vergleich zu den Werten gleichaltriger Gefäßgesunder (12 sec, s = 4 sec) waren die Ergebnisse jedoch vor und nach der Operation signifikant "schlechter" ($p < 0,001$) (Abb. 14).

Bei den vier Patienten (S.B., J.K., H.R., A.Z.), bei denen angiographisch nach der Operation keine Verschlüsse oder Stenosen mehr feststellbar waren (Beurteilg. des Angiogramms: 1-0, 1-0, 1-0, 1-0, Tab. 7), lag der Beginn des Anstiegs des $tcPo_2$ nach dem Öffnen der Manschette am Oberschenkel zwischen 9 und 15 sec und damit im Bereich Gefäßgesun-

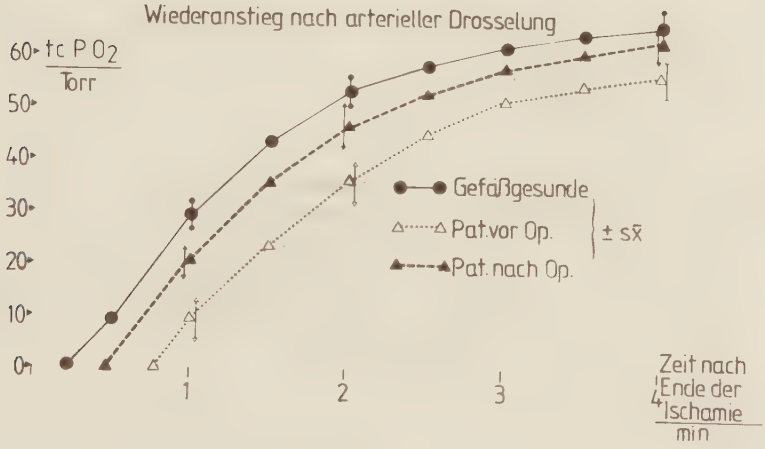


Abb. 14: Wiederanstieg nach arterieller Drosselung: 14 Patienten vor und nach der operativen Gefäßrekonstruktion, 5 gleichaltrige Gefäßgesunde; Durchschnitt ($\pm$ sx̄)

der. Bei allen anderen Patienten begann der Anstieg des $tcPo_2$ frühestens 16 sec nach dem Öffnen der Manschette am Oberschenkel (Abb. 15).

Im Vergleich zu den Werten vor der Operation war der Beginn des Anstiegs bei 3 Patienten unverändert, bei 11 Patienten lag er früher. Bei dem Patienten H.S. erklärt der Krankheitsverlauf den späten Beginn des Anstiegs nach der Operation.

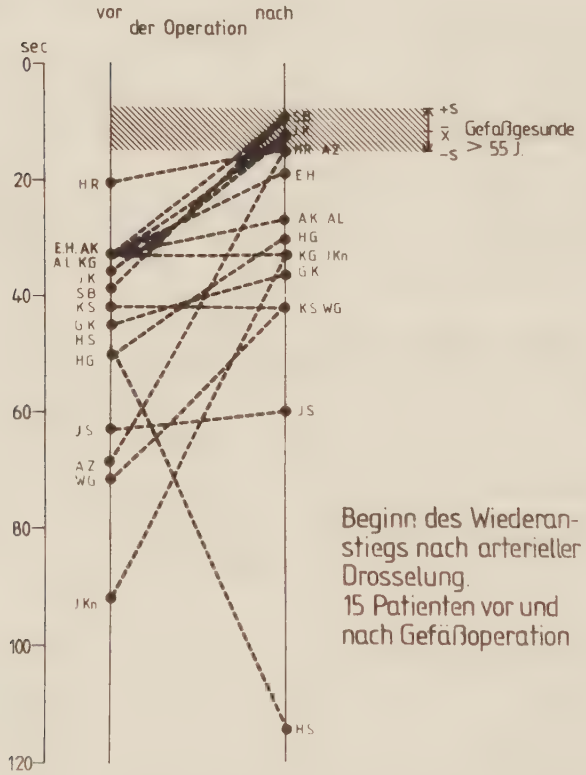


Abb. 15: Beginn des Wiederanstiegs des $tcPo_2$ nach arterieller Drosselung; 15 Patienten vor und nach der operativen Gefäßrekonstruktion

4.5 Untersuchung bei Ratschow' scher Rollprobe

Vor der Operation konnten die Patienten die Ratschow Probe im Schnitt 1,2 min (s = 0,4 min) bis zum Auftreten von Schmerzen durchführen. In dieser Zeit fiel der $tcPo_2$ ab. Das Minimum betrug 10 Torr (s = 11 Torr). Es wurde 36 sec (s = 34 sec) nach Beendigung der Ratschow Probe erreicht. Zu diesem Zeitpunkt begann also der Wiederanstieg der $tcPo_2$-Kurve.

Nach der Operation konnten 10 von 14 Patienten die geforderten Bewegungen im Sprunggelenk 2 Minuten schmerzfrei durchführen. Der Gesamtabfall des $tcPo_2$ lag bei 22 Torr (s - 12 Torr) und entsprach damit dem durchschnittlichen Ergebnis vor der Operation (19 Torr, s = 15 Torr); auch gegenüber Gefäßgesunden ließ sich kein Unterschied nachweisen ($p > 0,05$). Der Minimalwert nach der Operation (25 Torr, s = 16 Torr) war signifikant höher als vorher ($p < 0,05$), er wies gegenüber den Gesunden keinen statistisch nachweisbaren Unterschied auf, im Gegensatz zum Vergleich der präoperativen Werte ($p < 0,05$).

Der Abfall des $tcPo_2$ liegt also vor und nach der Operation im gleichen Bereich; daß der erreichte Minimalwert nach der Operation im Schnitt höher liegt als vorher, beruht auf dem höheren Ausgangswert, dem höheren Ruheplateau im Liegen.

Der Beginn des Wiederanstiegs des $tcPo_2$ nach dem Ende der Ratschow Probe war nach der Operation (14 sec, s = 10 sec) früher ($p < 0,05$) als vor der Operation. Der Bereich Gefäßgesunder wurde nicht erreicht ($p < 0,01$). Dies entspricht auch dem Beginn des Wiederanstiegs nach dreiminütiger Ischämie. In beiden Fällen sind die Werte nach der Operation "verbessert", es bestehen jedoch noch deutliche Unterschiede zu den Gefäßgesunden.

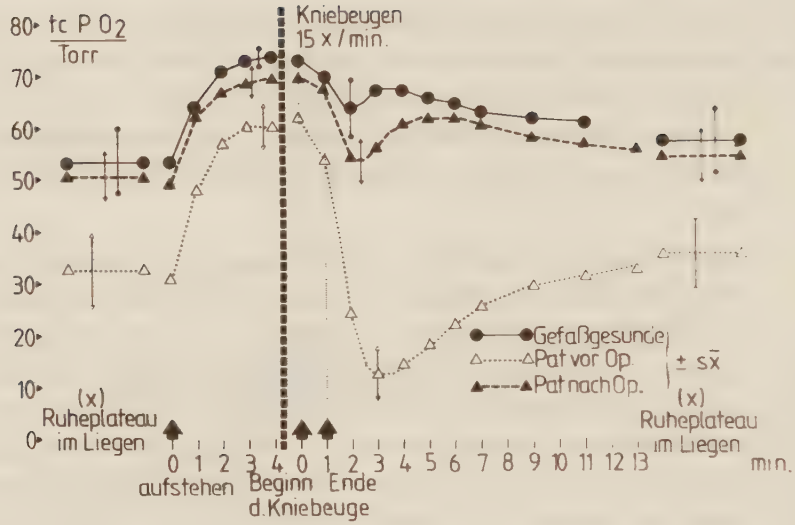


Abb. 16: **Kniebeugen: 14 Patienten vor und nach der operativen Gefäßrekonstruktion, 5 gleichaltrige Gefäßgesunde; Durchschnitt (± $s_{\bar{x}}$)**

4.6 Kniebeugen (Abb. 16)

Während der Kniebeugen (Dauer 1 min) fiel der $tcPo_2$ vor der Operation im Schnitt um 8 Torr (s = 5 Torr), nach der Operation waren es 2 Torr (s = 3 Torr). Dieser Unterschied ist signifikant ($p < 0,01$). Die absoluten Veränderungen um einige Torr liegen aber innerhalb der Schwankungsbreite des Ruheplateaus. Eine Schlußfolgerung im Einzelfall läßt sich deshalb nicht daraus herleiten.

Nach dem Ende der Kniebeugen, also nach dem Hinlegen, verstärkte sich der Abfall des $tcPo_2$. Vor der Operation wurde durchschnittlich 2,1 min nach den Kniebeugen das Minimum von 10 Torr (s = 16 Torr) erreicht.

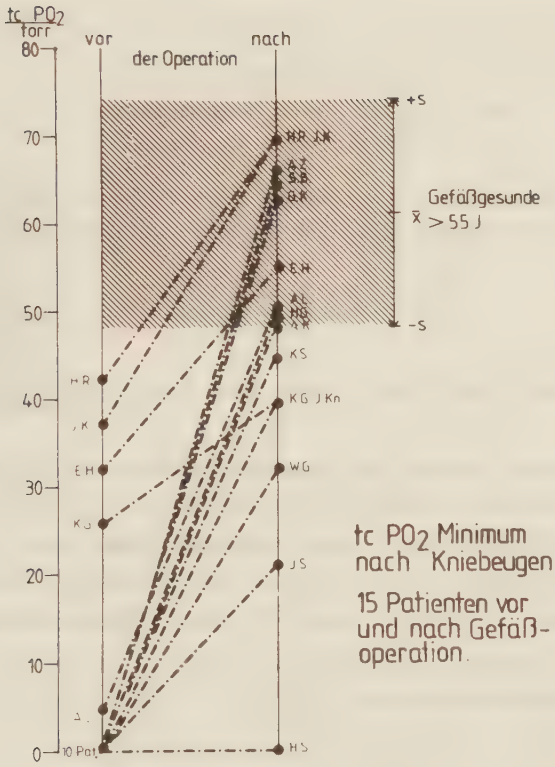


Abb. 17: $tcPo_2$-Minimum nach den Kniebeugen: 15 Patienten vor und nach der operativen Gefäßrekonstruktion

Dies entspricht einem Gesamtabfall des $tcPo_2$ seit Beginn der Kniebeugen von 52 Torr. Anschließend erfolgte der Wiederanstieg des $tcPo_2$ auf den Ruhewert von 34 Torr (s = 24 Torr). Das Minimum liegt somit im Schnitt 24 Torr unter dem nachfolgenden Ruhewert im Liegen. Nach der Operation wird das Minimum von 51 Torr (s = 15 Torr) schon nach 1,2 min erreicht. Der Abfall seit Beginn der Kniebeugen ist geringer (20 Torr), der Unterschied zum nachfolgenden Ruheplateau von 52 Torr (s = 18 Torr) beträgt nur 1 Torr. Der tiefste Wert des $tcPo_2$ nach den Kniebeugen ist somit

nach der Operation signifikant höher als vorher ($p < 0,001$) (Abb. 17). Der Unterschied zu den Werten Gefäßgesunder (62 Torr, s = 12 Torr) war vor der Operation signifikant ($p < 0,001$), jedoch nicht nach der Operation ($p > 0,05$).

Das Verhalten des $tcPo_2$ nach den Kniebeugen und dem erneuten Hinlegen spiegelt somit die verbesserten Durchblutungsverhältnisse nach der Operation wieder.

5. Stadieneinteilung anhand der $tcPo_2$-Messung

Die große Anzahl der bei der $tcPo_2$-Messung erhaltenen Daten erschwert den Überblick und die Zuordnung zu klinischen und angiographischen Befunden. Es wurde daher anhand einiger charakteristischer $tcPo_2$-Werte ein Einteilungsschema entworfen, das die bei jeder Messung eines Patienten erhaltenen $tcPo_2$-Parameter in einem Gesamturteil zusammenfaßt.

Geeignet für diese Einteilung sind folgende Veränderungen des $tcPo_2$-Wertes während des bekannten Untersuchungsganges:

1. Der Ruhewert des $tcPo_2$ am Beginn der Messung.
2. Die Zeit bis zum Beginn des Wiederanstiegs des $tcPo_2$ nach der dreiminütigen Ischämie.
3. Das Absinken des $tcPo_2$ während und nach den Kniebeugen.

Für jeden Meßwert dieser 3 Teilbereiche wurde dem Patienten jeweils eine Zahl zwischen 0 (= Grenzwerte der Meßergebnisse Gefäßgesunder) und 4 zugeordnet. Die Einteilungsgrenzen sind in Abb. 18 wiedergegeben.

Eine Gesamtbeurteilung ergibt sich dann als Durchschnitt dieser drei Bewertungen.

Für den Patienten J.K. sei dies exemplarisch durchgeführt. Vor der Operation hatte er am Beginn der Messung einen Ruhewert von 13 Torr (Bewertung: 3). Der Beginn des Wiederanstiegs nach der dreiminütigen

SCHWEREGRADE DER O_2 MANGELVERSORGUNG

		$tcpO_2$ Ruhewert zu Beginn der Messung	Beginn des $tcpO_2$ Anstiegs nach Öffnen des Cuff	Abfall des $tcpO_2$ nach Kniebeugen
0	⇨	über 40 mmHg	unter 20 sec	0 - 15 mmHg
1	⇨	39 - 30 mmHg	20 - 29 sec	16 - 30 mmHg
2	⇨	29 - 20 mmHg	30 - 39 sec	mehr als 30 mmHg
3	⇨	19 - 10 mmHg	40 - 49 sec	0 mmHg 0 - 1,5 min
4	⇨	9 - 0 mmHg	über 50 sec	0 mmHg > 1,5 min

Abb. 18: Schweregrade; Einteilungsgrenzen

Ischämie erfolgte nach 36 sec (Bewertung: 2). Sein Abfall während und nach den Kniebeugen betrug 31 Torr (Bewertung: 2). Als Gesamtbewertung vor der Operation ergibt sich somit -2-. Nach der Operation war sein Ruhewert auf 50 Torr angestiegen (-0-), der Beginn des Wiederanstiegs nach dreiminütiger Ischämie erfolgte nach 12 sec (-0-), und der Abfall während und nach den Kniebeugen betrug 4 Torr (-0-). Als Gesamtbewertung ergibt sich somit - 0 -.

Eine Übersicht für alle Patienten gibt Tabelle 9. Diese Tabelle zeigt noch einmal deutlich, daß es einige Patienten gibt, bei denen die Ergebnisse bei den verschiedenen Teilbereichen der Untersuchung doch erheblich variieren.

So fällt auf, daß bei manchen Patienten die Ruhewerte am Beginn der Messung vor der Operation relativ hoch liegen, während der Beginn des Anstiegs des $tcPo_2$ nach dreiminütiger Ischämie spät erfolgt und der Abfall nach Kniebeugen ausgeprägt ist (v.a. Pat. H.G., K.S.). Bei einigen anderen Patienten ist das Verhalten genau umgekehrt (Pat. J.K., E.H.).

Tab. 9: Einteilung in Schweregrade

Patient	vor der Operation				nach der Operation			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(c)
J.K.	3	2	(1-)2	2	0	0	0	0
A.Z.	4	4	4	4	0	0	0	0
S.B.	4	2(-3)	4	3	1	0	0	0
H.R.	0	1	2	1	0	0	0	0
E.H.	4	2	2	3	0	0	0	0
G.K.	1	3	3	2	0	2	1(-2)	1
H.G.	0	(3-)4	4	3	0	2(-1)	1(-2)	1
A.K.	4	2	4	3	1	1	0	1
K.S.	0	3	3	2	0	3	0	1
A.L.	1	2	2(-3)	2	0	1	1	1
J.Kr.	4	4	4	4	3	2	1(-2)	2
K.G.	2(-3)	2	2	2	1	2	1	1
W.G.	4	4	3	4	4	3	1(-2)	3
J.S.	4	4	4	4	3	4	2	3
H.S.	4	3	3	3	4	4	4	4

(a) $tcPo_2$ - Ruhewerte

(b) Beginn des Wiederanstiegs nach arterieller Sperre

(c) $tcPo_2$ nach den Kniebeugen

(d) Durchschnitt

Eine Beurteilung nur allein anhand des Ruhewertes oder nur allein anhand der Ergebnisse der Belastungsproben ist somit nach den bisherigen empirischen Erfahrungen im Einzelfall problematisch.

Die Integration mehrerer Parameter zu einer Gesamtbeurteilung erhöht die Aussagefähigkeit der $tcPo_2$-Messung und erleichtert die Zuordnung zu klinischen und angiographischen Befunden.

6. Vergleich des $tcPo_2$ mit dem Angiogramm

Bei den 3 Patienten mit einem isolierten Verschluß in der Beckenetage kann man einen Zusammenhang der $tcPo_2$-Ergebnisse mit der kollateralen Überbrückung erkennen (Tab. 10). Der Patient mit der guten kollateralen Überbrückung am untersuchten Bein (Pat. H.R.) hat die $tcPo_2$-Gesamtbeurteilung -1-, der Patient mit der schlechten kollateralen Überbrückung (S.B.) die Beurteilung -3-, der Patient ohne Kollateralen (A.Z.) -4-. Der Patient mit einer schlecht kollateralisierten, isolierten Stenose in der Beckenetage (J.K.) weist die Gesamtbeurteilung -2- auf.

Nach der Implantation eines aorto-bifemoralen bypass wird bei allen vier Patienten die optimale $tcPo_2$-Beurteilung -0- erreicht, die der angiographischen Beurteilung entspricht (1-0, 1-0, 1-0, 1-0).

Nur noch ein weiterer Patient (E.H.) weist diese gute Gesamtbeurteilung auf. Er ist außer den obigen vier auch der einzige mit einer freien Durchgängigkeit der Aa. iliacae und der A. femoralis superficialis (femoro-femoralen bypass) nach der Operation (Tab. 8). Die bei ihm noch bestehende Stenose der A. femoralis profunda hat auf die Ergebnisse der $tcPo_2$-Messungen am Unterschenkel bei den hier gewählten Belastungen, keinen signifikanten Einfluß.

Tab. 10: Vergleich der Ergebnisse der Angiographie mit der Gesamtbeurteilung anhand des $tcPo_2$

Pat.	$tcPo_2$ - Gesamteinteilung vor der Operation	$tcPo_2$ - Gesamteinteilung nach der Operation	Bemerkungen
1.)	Patienten mit einem isolierten Verschluß (Stenose) im Beckenbereich		
H.R.	1	0	gute Kollateralen vor der Operation
J.K.	2	0	schlecht kollateralisierte Stenose (v. Op.)
S.B.	3	0	schlecht kollateralisierter Verschluß (v. Op.)
A.Z.	4	0	angiographisch keine Kollateralen (v. Op.)
2.)	Patienten mit Verschlüssen/Stenosen im Becken und Oberschenkelbereich (letztere auch noch nach der Operation)		
A.L.	2	1	
H.G.	3	1	
K.S.	2	1	
A.K.	3	1	
G.K.	2	1	
K.G.	2	1	
J. Kr.	4	2	Ödeme
3.)	wie 2.) und zusätzlich multiple Verschlüsse/Stenosen im proximalen Unterschenkel		
W.G.	4	3	
J.S.	4	3	
4.)	sonst. Patienten		
E.H.	3	0	femoro-femoraler bypass
H.S.	3	4	siehe Fallbeispiel D) III. 8.1

Bei den anderen Patienten liegen stets mehrere Verschlüsse oder Stenosen vor. Eine Interpretation der Ergebnisse wird somit schwieriger, insbesondere in Anbetracht der geringen Anzahl der Patienten.

Es fällt auf, daß die Patienten, die zusätzlich noch Verschlüsse oder Stenosen am proximalen Unterschenkel haben, eine schlechte $tcPo_2$-Beurteilung aufweisen (W.G., J.S.).

Der Einfluß zusätzlicher Gefäßveränderungen wird deutlich, wenn man die Verhältnisse nach der Operation betrachtet (Tab. 10). Die Patienten W.G. und J.S. weisen die Gesamtbeurteilung -3- auf. Die Patienten ohne größere Veränderungen der proximalen Unterschenkelgefäße haben eine bessere Gesamtbeurteilung.

Auf einen anderen Zusammenhang sei noch hingewiesen:

Bei den Patienten mit einem isolierten Iliakalverschluß (Patienten S.B., H.R., A.Z.) ist die Beurteilung des Wiederanstiegs des $tcPo_2$ nach dreiminütiger Ischämie (durchschnittlicher Schweregrad 2,3) besser, als die Beurteilung des $tcPo_2$-Abfalls während und nach den Kniebeugen (Schweregrad 3,3). Nach der Operation wird für beide Belastungsproben die Beurteilung -0- erreicht.

Während der Kniebeugen müssen die Kollateralen der Beckenarterienverschlüsse das gesamte Bein versorgen; es kommt zur Hämometakinesie zugunsten der Gesäß- und Oberschenkelmuskulatur und zuungunsten von Wade und Fuß. Nach der Ischämie, durch suprasystolische Kompression oberhalb des Kniegelenks, erfolgt die Durchblutungsreaktion nur im Unterschenkel. Die relative Transportkapazität der Kollateralen im Bezug auf die induzierte Gefäßreaktion ist größer (BOLLINGER (3).

Bei den Patienten mit einem/r isolierten Verschluß/Stenose der A. femoralis superficialis (7 Patienten nach der Operation, Tab. 10) ist die Beurteilung gerade umgekehrt (Ischämie: durchschnittlicher Schweregrad 1,8; Kniebeugen 0,8); die im Vergleich zu vor der Operation (ilio-femoraler bypass) bewirkte Verbesserung des $tcPo_2$ macht sich bei den Kniebeugen

i. a. stärker bemerkbar (um durchschnittlich 2,3 Schweregrade), als bei der Ischämie (um 0,9 Schweregrade).

Die Interpretation dieser Befunde entspricht, mutatis mutandis, den oben angeführten Zusammenhängen.

Die Tatsache, daß bei den Patienten mit isolierten Femoralis Verschlüssen die Beurteilung anhand der Kniebeugen besser ausfällt, als anhand der dreiminütigen Ischämie, bedeutet, daß die dreiminütige Ischämie eine "stärkere, isolierte Belastungsprobe" für den Unterschenkel darstellt.

Diese Überlegungen sind nicht "beweisend", da man keine absoluten Werte, sondern nur selbst gewählte Schweregrade vergleichen kann. Aber selbst bei beliebiger Einteilung wird es so sein, daß bei isolierten Beckenarterienverschlüssen die $tcPo_2$- Reaktion auf die Kniebeugen durchschnittlich "zu schlecht" und die Reaktion auf die Ischämie "zu gut" ausfällt; bei isolierten Femoralis Verschlüssen vice versa; nur der quantitative Unterschied, ausgedrückt in Schweregrade, ist willkürlich.

Die dem jeweiligen Patienten am ehesten gerecht werdende Beurteilung anhand des $tcPo_2$ erfolgt nicht durch einzelne Werte oder Schweregrade, sondern durch die Beachtung des gesamten $tcPo_2$-Reaktionsprofils während und nach den verschiedenen Belastungsproben, im Zusammenhang mit klinischen und angiographischen Befunden.

7. Fallbeispiele

7.1 Patient A. Z.

Anamnese: Der 55jährige Patient litt seit einem halben Jahr unter starken Schmerzen im Bereich beider Beine mit zunehmender Einschränkung der Gehstrecke. Die Schmerzen traten in der Lumbalregion, beiden Oberschenkeln und den Waden auf. Nachts hatte der Patient häufig Ruheschmerzen in beiden Füßen sowie ein Taubheits- und Kältegefühl.

Die Untersuchung zeigte keine trophischen Störungen im Bereich der unteren Extremitäten. Die Füße waren kalt, die Hautfarbe war blaß, die Pulse waren nicht tastbar (re: -, -, -, -, li: -, -, -, -,).

Es handelt sich somit um eine AVK III beidseits nach Fontaine-Ratschow.

Die durchgeführte Aortographie ergab einen vollständigen Verschluß der Aorta infrarenal (Lériche Syndrom). Bei der anschließenden Darstellung der Femoralarterien zeigte sich links ein Verschluß der A. iliaca communis und ein Teilverschluß der A. iliaca externa. Im Bereich der A. femoralis superficialis zeigten sich deutliche Wandveränderungen (Beurteilung li: 4-4, 2-0, 1-0, 1-0). Rechts ergab sich der gleiche Befund. Zusätzlich war die A. tibialis posterior im Abgangsbereich aus dem Tractus tibiofibularis verschlossen (Beurteilung: re: 4-4, 2-0, 1-0, 1-0).

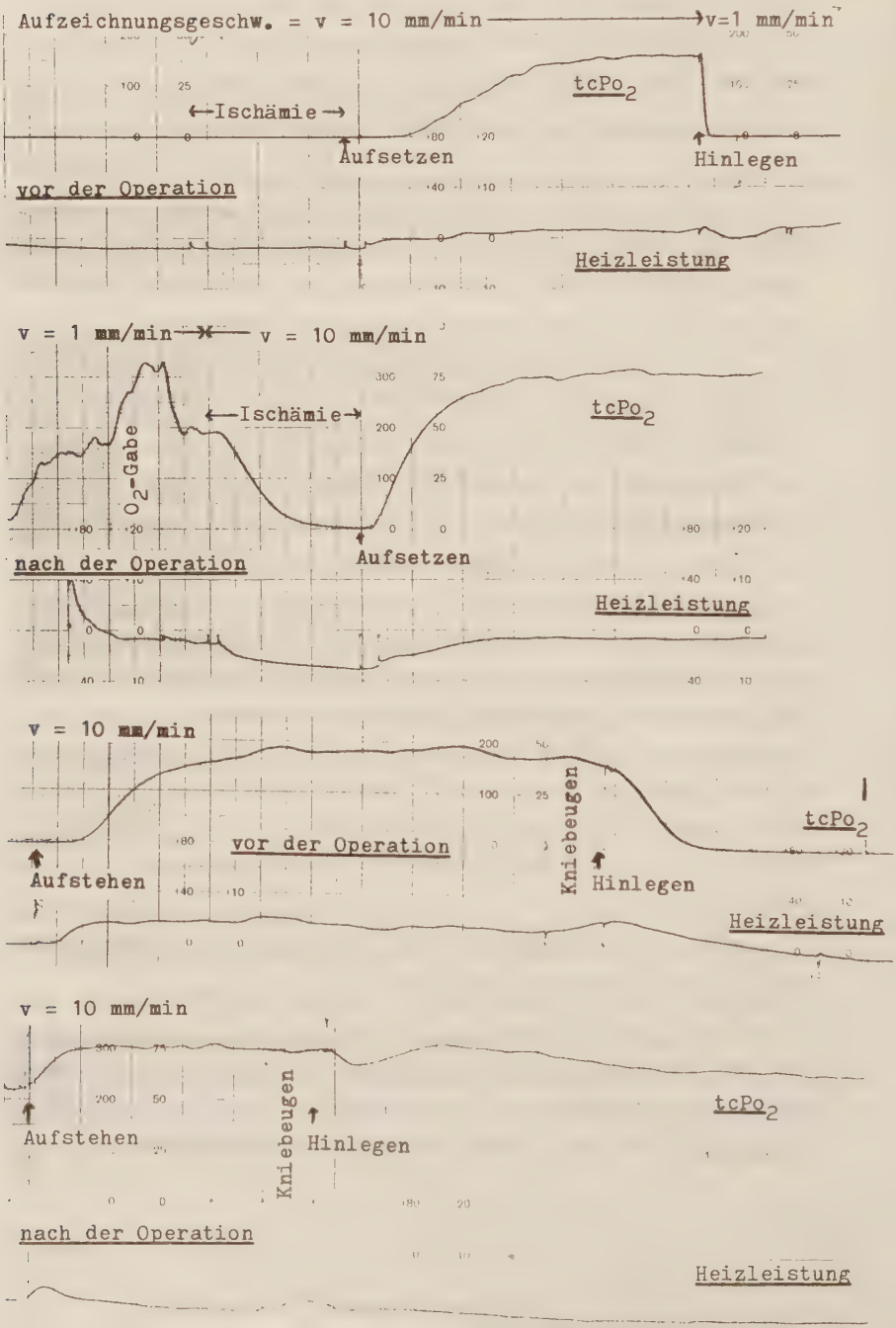
Die Gehstrecke des Patienten auf dem Laufbandergometer unter definierten Bedingungen betrug 18 m.

Die, fünf Tage vor der Operation, am rechten Unterschenkel durchgeführte $tcPo_2$-Messung (Abb. 19) zeigte am Beginn einen Ruhewert von 0 Torr, der auch im Verlauf der Untersuchung nicht anstieg. Auch die Sauerstoffgabe bewirkte keine Änderung des Ruhe $tcPo_2$. Bei der Reaktion des $tcPo_2$ nach dreiminütiger Ischämie fiel außer dem verspäteten Beginn des Anstiegs (nach 69 sec) vor allem der im weiteren Verlauf flache Anstieg der $tcPo_2$-Kurve auf (Steigung 31^{o}). Wie bei diesem Ruhewert nicht anders zu erwarten, fiel auch nach den Kniebeugen der $tcPo_2$ innerhalb 2 min auf 0 Torr. Es ergab sich somit die Gesamtbeurteilung -4- anhand des $tcPo_2$.

Die Indikation für die Implantation einer aorto-bifemoralen Bifurkationsprothese wurde gestellt. Die Operation verlief ohne Komplikationen.

Am 14. post operativen Tag erfolgte die erneute $tcPo_2$-Messung. Der $tcPo_2$-Ruhewert des Patienten lag am Beginn der Messungen bei 42 Torr. Die O_2-Gabe bewirkte einen Anstieg auf 80 Torr. Der Beginn des Wiederansteigs des $tcPo_2$ nach dreiminütiger Ischämie erfolgte nach 15 sec.

Abb. 19: Ausschnitte aus den Originalkurven des Patienten A.Z. vor und nach der Operation



Nach den Kniebeugen fiel der $tcPo_2$ nur geringfügig um 8 Torr. Die Werte entsprechen also denen gleichaltriger Gefäßgesunder. Dies drückt sich auch in der Gesamtbeurteilung anhand des $tcPo_2$ aus -0-. Das einen Tag später durchgeführte Angiogramm ergab eine freie Durchgängigkeit der Anastomosen und eine langsame Füllung des Gefäßsystems beider unteren Extremitäten (Beurteilung re: 1-0, 1-0, 1-0, 1-0).

Die Untersuchung auf dem Laufbandergometer wurde bei 600 m ohne Schmerzen des Patienten abgebrochen.

7.2 Patient H.S.

Anamnestisch ergab sich bei dem 53jährigen Patienten eine seit 2 Jahren bestehende Claudicatio mit Schmerzen im linken Bein. Vor einem Jahr wurde eine Varizen Verödung links durchgeführt. Ebenfalls seit 2 Jahren war ein Diabetes mellitus, eine Hyperlipidämie und eine Hypercholesterinämie bekannt.

Die klinische Untersuchung zeigte Ulcera am linken, medialen Malleolus und an der linken Ferse. Die Femoralispulse waren beidseits tastbar, die Poplitea Pulse waren nicht tastbar, die Fußpulse fehlten gleichfalls (re + --- li + ---). Es handelte sich somit um eine AVK IV nach Fontaine-Ratschow. Die Laufbanduntersuchung ergab eine schmerzfreie Gehstrecke von 50 m. Nach 14tägigem stationärem Aufenthalt (Gehtraining) waren es 78 m.

Bei der Aorto-Femoralis-Angiographie fanden sich beidseits Stenosen im Bereich der Iliacalgefäße sowie rechts ein Ausfall der A. femoralis superficialis (Beurteilung re: 1-0, 4-1, 2-0, 3-2). Links zeigte sich ein Verschluß der A. femoralis superficialis, der A. poplitea und der A. tibialis posterior (Beurteilung li: 2-3, 4-1, 3-3, 4-1).

Die $tcPo_2$-Messung wurde am linken Bein durchgeführt. Es zeigten sich niedrige Ruhewerte im Liegen (4 Torr am Beginn), nach dreiminütiger

Ischämie dauerte es 48 sec bis der $tcPo_2$ anstieg, nach den Kniebeugen fiel der $tcPo_2$ vorübergehend auf 0 Torr. Die Gesamtbeurteilung anhand der $tcPo_2$-Kurve ergab -3-. Diese Ergebnisse entsprachen den klinischen und angiographischen Befunden.

Die Indikation für einen ilio-profundalen Bypass links, mit lumbaler Sympathektomie, wurde gestellt. Die Operation verlief ohne Komplikationen.

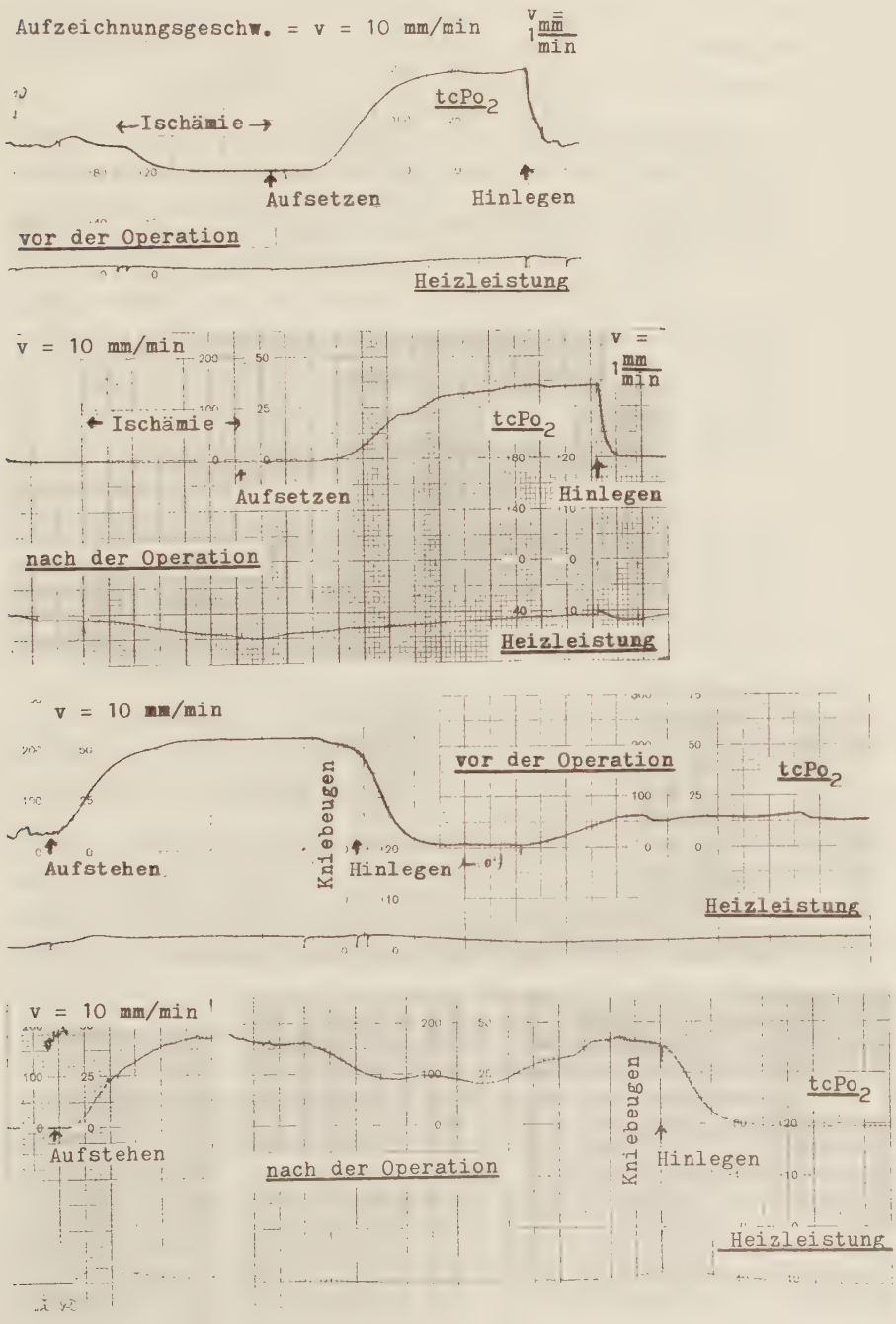
Das 10 Tage nach der Operation durchgeführte Kontrollangiogramm zeigte eine freie Durchgängigkeit des Gefäßinterponats und der Anastomosen.

Wegen Wundheilungsstörungen und einer Nahtdehiszenz (linke Leiste), die eine Sekundärnaht erforderlich machte, wurde die $tcPo_2$-Messung erst 28 Tage nach der Operation durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß der Ruhewert im Liegen gegenüber vor der Operation noch abgenommen hatte (0 Torr am Beginn). Die im Sitzen und Stehen erreichten Werte (25 - 40 Torr) waren niedriger als vor der Operation. Der Wiederanstieg des $tcPo_2$ nach dreiminütiger Ischämie erfolgte nach 144 sec und somit signifikant später als vorher. Diese eindeutige Verschlechterung gegenüber den vor der Operation gemessenen Werten zeigte sich auch bei den anderen Belastungsproben (Abb. 20). Sie schlägt sich auch in der Gesamtbeurteilung -4- nieder.

Die Ergebnisse der $tcPo_2$-Messung konnten zu diesem Zeitpunkt nicht ganz mit den klinischen Befunden in Einklang gebracht werden. Die Aorto-Femoralis-Angiographie 18 Tage zuvor hatte eine freie Durchgängigkeit gezeigt. Die Ulcerationen waren unverändert. Subjektiv fühlte sich der Patient "etwas besser als vor der Operation".

14 Tage später erfolgte dann Entlassung auf eigenen Wunsch, jedoch schon eine Woche später mußte eine neue stationäre Aufnahme erfolgen. Die Schmerzen des Patienten hatten deutlich zugenommen, es entwickelte sich nunmehr eine feuchte Gangrän, die Amputation des Unterschenkels war nicht mehr zu umgehen. Im weiteren Verlauf bildete sich ein Leisten-

Abb. 20: Ausschnitte aus den Originalkurven des Patienten H. S. vor und nach der Operation



abszeß. Wegen Verdacht auf eine Infektion des bypass (bakteriologisch nicht bestätigt) erfolgte der Ausbau der Iliacalprothese. Schließlich mußte noch eine Oberschenkelnachamputation vorgenommen werden.

Die $tcPo_2$-Messung zeigte hier die Verschlechterung der O_2-Versorgung des Unterschenkels an; und zwar zu einem Zeitpunkt, als die klinischen Befunde und die subjektiven Beschwerden des Patienten keine eindeutige Aussage erlaubten.

E) DISKUSSION

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß eine arterielle Verschlußkrankheit der unteren Extremität zu einer signifikanten Veränderung des $tcPo_2$-Meßsignals am Unterschenkel führt. Nach einer operativen Gefäßrekonstruktion ergibt sich eine Verbesserung des $tcPo_2$ hin zum Bereich Gefäßgesunder. Der Beweis, daß die $tcPo_2$ Veränderungen am Unterschenkel durch die arterielle Verschlußkrankheit der unteren Extremität bedingt sind, ergibt sich dadurch, daß bei gleichzeitiger $tcPo_2$-Messung am Sternum kein Unterschied zu Gefäßgesunden besteht.

Jedoch besitzt der $tcPo_2$ in Ruhe allein , nur eine geringe Aussagefähigkeit. Dies liegt zum Teil in der methodisch bedingten Schwankungsbreite des Meßsignals begründet. So ist durch die Fehlerbreite der Meßapparatur und die Ablesegenauigkeit mit einem absoluten Fehler von +/- 8 Torr zu rechnen. Auch ist aus Untersuchungen bei Gefäßgesunden bekannt, daß selbst benachbarte Anlagepunkte auf der Haut Differenzen der $tcPo_2$-Werte zwischen 20 und 25 Torr aufweisen können (JACOBSON u. LÖFGREN (44), STOSSECK (69), VERSMOLD (73).

Erst die Einbeziehung von Belastungsproben erhöht die Aussagefähigkeit dieser Methode, wobei sich bei der vorliegenden Untersuchung die Reaktionen des $tcPo_2$ während und nach den Kniebeugen und der dreiminütigen Ischämie als besonders aussagekräftig erwiesen. Direkte Zusammenhänge zwischen den $tcPo_2$-Meßergebnissen einerseits und der Schwere des klinischen Krankheitsbildes sowie dem Angiogramm andererseits, lassen sich nachweisen. Eine Korrelation besteht mit der unter standardisierten Bedingungen ermittelten Gehstrecke. Ähnliche Signifikanzen fanden MATTHES et al. (52), BOLLINGER et al. (5) und LORENTSEN (50)

für die Korrelation der Gehstrecke mit den Parametern der Ultraschall - Doppler- Untersuchung.

Ein direkter Vergleich der $tcPo_2$-Messung mit einem anderen angiologischen Verfahren bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Im Verlauf der Arbeit tauchte die Frage auf, welche pathophysiologischen Gegebenheiten zur Veränderung des $tcPo_2$ bei den Patienten führen.

So ist bekannt, daß bei hämodynamischen Störungen der $tcPo_2$ weit unter dem aPo_2 liegt (GOECKENJAN u. STRASSER (24), HEMPELMANN u. STOSSECK (27), JACOBSON u. LÖFGREN (44), KÖNIG et al. (48), PARZINGER et al. (57), ROOTH (60). Auch TØNNESEN (70) fand bei Patienten mit AVK eine $tcPo_2$-Abhängigkeit vom Perfusionsdruck.

Nach einer Muskelbelastung der unteren Extremität bzw. nach mehrminütiger Ischämie fällt bei den Patienten mit AVK der $tcPo_2$ signifikant ab. Es dauert mehrere Minuten, bevor er sein Ausgangsniveau wieder erreicht. Dies entspricht dem Druckverlauf in den Knöchelarterien (BOLLINGER (3), MAHLER et al. (51), MYRHE u. KROESE (54). Die erniedrigten Druckwerte im Strömungsgebiet der unteren Extremität bei den hier untersuchten Patienten führen somit zu einem niedrigen $tcPo_2$.

Auch das Phänomen der Hämometakinesie beeinflußt den verzögerten $tcPo_2$-Anstieg am Unterschenkel nach arterieller Drosselung. Das einströmende Blut füllt zunächst die proximalen, ischämisch weit gestellten Segmente auf; erst dann folgt auch die Perfusion weiter distal liegender Bezirke (BARTUSCH et al. (1), BOLLINGER et al. (4), EHRINGER (12).

Durch die Erwärmung der $tcPo_2$-Meßeletrode und der dadurch bedingten Hyperämie wird ein hoher $tcPo_2$ erreicht. Da bei Patienten mit AVK im ischämischen Muskelgewebe (EHRLY et al. (13, 15, 17), an der Muskeloberfläche (HAUSS et al. (25) und subkutan (COOKE et al. (8) die

Sauerstoffdruckwerte erniedrigt sind, ist im Vergleich zu Gesunden der Po_2- Gradient zum benachbarten Gewebe größer, die Abdiffusion ist erhöht, der subepidermale Po_2 sinkt stärker ab.

Da jedoch der hyperämische Gewebebezirk weit größer ist als der den $tcPo_2$ beeinflussende Bereich (STOSSECK (69), spielt dieser Faktor keine quantitativ entscheidende Rolle. DULING und BERNE (10) wiesen mit Mikroelektroden nach, daß der Po_2 entlang der kleinen Arterien hin zum Ende der Arteriolen signifikant abfällt; ein Teil der Sauerstoffversorgung des Gewebes erfolgt durch 0_2-Diffusion von den präkapillären Gefäßen aus. Dieser Effekt ist im hypoxischen Gewebe und bei langsamer Blutströmung verstärkt (TØNNESEN (70). Hierdurch kommt es gleichfalls zu niedrigen subepidermalen Po_2-Werten im Meßbereich der Transoxode. Auch der verzögerte Wiederanstieg des $tcPo_2$ nach mehrminütiger Ischämie bei Patienten mit AVK entspricht dem bereits 1963 von VASLI (71, 72) festgestellten Verhalten des blutig gemessenen Po_2 im Muskelgewebe und subkutan.

Die Zusammenstellung zeigt, daß der niedrige $tcPo_2$ am Unterschenkel bei Patienten mit AVK sowohl durch Druckerniedrigung als auch durch die Gewebshypoxie bedingt ist.

F) ZUSAMMENFASSUNG

Bei 29 Patienten mit AVK und bei 17 Gefäßgesunden wurde der $tcPo_2$ am Unterschenkel fortlaufend während verschiedener Belastungsproben registriert (O_2-Atmung, arterielle Drosselung, Belastung in Anlehnung an die Ratschow Probe, Kniebeugen). Bei 22 Probanden wurde gleichzeitig der $tcPo_2$ am Sternum bestimmt.

Bei 15 Patienten wurde die Untersuchung nach einer operativen Gefäßrekonstruktion wiederholt.

Zwischen den Patienten und den Gefäßgesunden waren signifikante Unterschiede im $tcPo_2$-Verhalten am Unterschenkel feststellbar. Als zur Differenzierung besonders geeignet erwies sich das Reaktionsprofil des $tcPo_2$ nach der dreiminütigen Ischämie und nach den Kniebeugen.

Auch die Werte der Patienten nach der Operation zeigten eine statistisch signifikante Verbesserung hin zum Bereich Gefäßgesunder.

Eine Korrelation der $tcPo_2$-Werte mit klinischen und angiographischen Befunden besteht.

Die Messung mit dieser einfach handhabbaren, nicht invasiven Methode ist beliebig oft wiederholbar und auch während einer Belastung möglich. Die Anwendung ist, bei Beschränkung auf Ruhewert und mehrminütige Ischämie, unabhängig von der Mitarbeit des Patienten. Eine Beeinflußbarkeit der Ergebnisse durch die Subjektivität des Untersuchers besteht nicht. Da die Aufzeichnung fortlaufend erfolgt ($tcPo_2$-Kurve), ist eine einfache Auswertung möglich ($tcPo_2$-Reaktionsprofil).

Die Methode ist geeignet zur Untersuchung pathophysiologischer Zusammenhänge bei Patienten mit AVK und zur Dokumentation einer Verbesserung der Durchblutung nach einer operativen Gefäßrekonstruktion.

Herrn Professor Dr. med. M. SPERLING danke ich herzlich für die Überlassung des Dissertationsthemas.

Mein weiterer, besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. H. TRUSHEIM für die hilfreiche Betreuung bei der Anfertigung der Arbeit, die zahlreichen Anregungen und für die Auswertung der Angiogramme.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. H.-P. KELLER danke ich für die Überlassung des $tcPo_2$ Laborgerätes und Herrn Dipl. Ing. K. TRENKEL für die Hilfe bei den statistischen Auswertungen.

Für organisatorische Hilfe bin ich Frau D. FORBERG zu Dank verpflichtet.

G) LITERATURVERZEICHNIS

1 BARTUSCH, M., H. MÖRL, PREUSS, E.G.: Das Profil der reaktiven Mehrdurchblutung bei organisch arteriellen Verschlußkrankheiten.
Z. Kreislaufforsch., 59, 1970, 60-6.

2 BOLLINGER, A.: Durchblutungsmessungen in der klinischen Angiologie.
Huber, Bern, 1969, S. 21.

3 BOLLINGER, A.: Funktionelle Angiologie.
Thieme, Stuttgart, 1979, S. 82.

4 BOLLINGER, A., J.-P. BARRAS, H.H. BRUNNER, M. CASTY: Beziehungen zwischen Fluß und Druck bei arterieller Verschlußkrankheit der unteren Extremität.
In: A. Kriessmann, A. Bollinger: Ultraschall-Doppler-Diagnostik in der Angiologie.
Stuttgart, 1978, 9-16.

5 BOLLINGER, A., M. SCHLUMPF, F. BUHOLZER, A. GRÜNTZIG, P. BUTTI: Ergometric performance and peripheral hemodynamics in patients with isolated occlusions of the iliac and femoral arteries.
VASA, 2, 1973, 228- 32.

6 BUCHER, H.U., K. MENNER, A. HUCH, R. HUCH: Transkutane Po_2-Messung während Herzkatheteruntersuchungen bei Kindern.
Z. Kardiol., 66, 1977, 598-600.

7 CLARK, L.C., R. WOLF, D. GRANGER, Z. TAYLOR: Continuous Recording of Blood Oxygen Tension by Polarography.
J. appl. Physiol., 6, 1953, 189-93.

8 COOKE, P.A., R.B. HEPPENSTHALL, F.N. LITOOY, T.K. HUNT, E.J. WYLIE: The Tissue Oxygen Tension as an Index of Collateral Blood Flow during Acute Arterial Occlusion.
S. Afr. J. Surg., 12, 1974, 91-9.

9 DENNHARDT, R., M. FRICKE, S. MAHAL, A. HUCH, R. HUCH: Transcutaneous Po_2-Monitoring in Anaesthesia. Europ. J. Intensive Care Med., 2, 1976, 29-33.

10 DULING, B.R., R.M. BERNE: Longitudinal Gradients in Periarteriolar Oxygen Tension. Circulat. Res., 27, 1970, 669-78.

11 EBERHARD, P., K. HAMMACHER, W. MINDT: Methode zur kutanen Messung des Sauerstoffpartialdruckes. Biomed. Technik, 18, 1973, 216-21.

12 EHRINGER, H.: Die reaktive Hyperämie nach arterieller Sperre. Akt. Probl. Angiol., 13, 1971, 20-33.

13 EHRLY, A.M., H.J. KÖHLER, W. SCHROEDER, R.MÜLLER: Sauerstoffdruckwerte im ischämischen Muskelgewebe von Patienten mit chronischen peripheren arteriellen Verschlußkrankheiten. Klin. Wschr., 53, 1975, 687-88.

14 EHRLY, A.M., H.J. KÖHLER, W. SCHROEDER: Zeitliche Differenzen zwischen der Erhöhung des muskulären Gewebesauerstoffdruckes und der Zunahme der schmerzfreien Gehstrecke bei der Therapie der schweren claudicatio intermittens mit Ancrod. VASA, 8, 1979, 28-31.

15 EHRLY, A.M., W. SCHROEDER: Sauerstoffdruckwerte im ischaemischen Muskelgewebe von Patienten mit chronischen arteriellen Verschlußkrankheiten. Verh. dt. Ges. Kreisl. Forsch., 42, 1976, 380 - 4.

16 EHRLY, A.M., W. SCHROEDER: Oxygen Pressure Values in the Ischemic Muscle Tissue of Patients with Chronic Occlusive Arterial Disease. Adv. Exp. Med. Biol., 94, 1977, 401-5.

17 EHRLY, A.M., W.SCHROEDER: Muscle Tissue Oxygen Tension in Chronic Arterial Occlusive Disease. Bibl. Anat., 16 pt. 2, 1977, 150-1.

18 EHRLY, A.M., W. SCHROEDER: Oxygen Pressure in Ischemic Muscle Tissue of Patients with Chronic Occlusive Arterial Disease. Angiology, 28, 1977, 101-8.

19 EHRLY, A.M., W. SCHROEDER, St.DANNHOF: The Effect of Pentoxifyllin on the Oxygen Pressure of Ischemic Muscle Tissue in Patients with Chronic Arterial Occlusions. IRCS Medial Science: Cardiovascular System; Clinical Medicine; Clinical Pharmacology and Therapeutics; Hematology, 5, 1977, 411.

20 EVANS, M.T.S., P.F.D. NAYLOR: The Systemic Oxygen Supply to the Surface of Human Skin. Resp. Physiol. 3, 1967, 21-37.

21 FENNER, A., R. MÜLLER, H.G. BUSSE, M. JUNGE, J. WOLFSDORF: Transcutaneous Determination of Arterial Oxygen Tension. Pediatrics, 55, 1975, 224-30.

22 GLEICHMANN, U., D.W. LÜBBERS: Die Messung des Sauerstoffdruckes in Gasen und Flüssigkeiten mit der Pt-Elektrode unter besonderer Berücksichtigung der Messung im Blut. Pflüg. Arch. ges. Physiol. 271, 1960, 431-55.

23 GOECKENJAN, G., K. STRASSER: Vergleichende Untersuchungen des kontinuierlichen intraarteriell und transcutan-gemessenen Sauerstoffpartialdruckes bei Intensivpatienten. Verh. dt. Ges. inn. Med., 82, 1976, 1970-3.

24 GOECKENJAN, G., K. STRASSER: Relation of Transcutaneous to Arterial Po_2 in Hypoxaemia, Normoxaemia and Hyperoxaemia. Biotelemetry, 4, 1977, 77-87.

25 HAUSS, J., K. SCHÖNLEBEN, U. SPIEGEL, M.KESSLER: Measurement of Local Oxygen Pressure in Skeletal Muscle of Patients Suffering from Disturbance of Arterial Circulation. In: J.A. Silver, M. Erecinska, H.J. Bicher: Oxygen Transport to Tissue, III, Plenum Pr., New-York - London 1978, 419-22.

26 HEDSTRAND, U., M.LIW, G. ROOTH, C.H. ÖGREN: Effect of Respiratory Physiotherapy on Arterial Oxygen Tension. Acta Anaesthesiol. Scand., 22, 1978, 349 - 52.

27 HEMPELMANN, G., K. STOSSECK: Möglichkeiten und Grenzen der fortlaufenden Sauerstoffpartialdruckmessung im Blut (pao_2) sowie transkutan ($tcPo_2$).
In: M. Zindler, R. Purschke: Neue kontinuierliche Methoden zur Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktion. Schriftenreihe Intensivmedizin, Notfallmedizin, Anästhesiologie, Bd. 1.
Thieme, Stuttgart, 1976, 43-52.

28 HUCH, R.: Quantitative, kontinuierliche Sauerstoffpartialdruckmessung (Po_2Messung) auf der hyperämisierten Erwachsenenhaut.
Med. Diss., Marburg, 1971.

29 HUCH, A., R. HUCH: Klinische und physiologische Aspekte der transkutanen Sauerstoffdruckmessung in der Perinatologie.
Zeitschr. f. Geburtsh. u. Perinat., 179, 1975, 235 - 49.

30 HUCH, A., R. HUCH: Physiologische und methodische Grundlagen der transkutanen Po_2- und PCo_2-Messung.
In: Emmrich, P. (Hrsg.): Pädiatrische Intensivmedizin.
Thieme, Stuttgart, 1977, 58-65.

31 HUCH, R., A. HUCH: Transcutane Überwachung des arteriellen Po_2 in der Anaesthesie.
Anaesthesist, 23, 1974, 181-5.

32 HUCH, R., A. HUCH, M. ALBANI et al.: Transcutaneous Po_2 Monitoring in Routine Management of Infants and Children with Cardiorespiratory Problems.
Pediatrics 57, 1976, 681-90.

33 HUCH, A., R. HUCH, B. ARNER, B. ROOTH: Continuous Transcutaneous Oxygen Tension Measured with Heated Electrode.
Scand. J. clin. Lab. Invest., 31, 1973, 269-75.

34 HUCH, A., R. HUCH, H. BUCHER, K. STRASSER: Maternal and Fetal $tcPo_2$ Monitoring.
5th European Congress of Perinatal Medicine, Uppsala, 1976, 121 - 9.

35 HUCH, A., R. HUCH, D. W. LÜBBERS: Quantitative polarographische Sauerstoffdruckmessung auf der Kopfhaut des Neugeborenen.
Arch. Gynäkol., 207, 1969, 443 - 51.

36 HUCH, R., A. HUCH, D.W. LÜBBERS: Transcutaneous measurement of blood Po_2 ($tcPo_2$)-Method and application in perinatal medicine.
J. Perinat. Med., 1, 1973, 183-91.

37 HUCH, R., A.HUCH, D.W. LÜBBERS: Die kontinuierliche Kontrolle des arteriellen Po_2 und ihre Bedeutung für die Überwachung von Mutter und Kind.
Biomed. Technik, 19, 1974, 87-91.

38 HUCH, R., A.HUCH, D.W. LÜBBERS: Arterielle Sauerstoffspannung und Belastung bei Gesunden.
diagnostik, 7, 1974, 803-4.

39 HUCH, A., D.W. LÜBBERS, R. HUCH: Der periphere Perfusionsdruck: Eine neue nicht invasive Meßgröße zur Kreislaufüberwachung von Patienten.
Anaesthesist, 24, 1975, 39-40.

40 HUCH, R., D.W. LÜBBERS, A.HUCH: Quantitative Continuous Measurement of Partial Oxygen Pressure on the Skin of Adults and New-Born Babies.
Pflügers Arch. ges. Physiol., 337, 1972, 185-98.

41 HUCH, R., D.W. LÜBBERS, A. HUCH: Routine Monitoring of the Arterial Po_2 of Newborn Infants by continous Registration of Transcutaneous Po_2 and Simultaneous Control of Reactive Local Pressure.
In: D.F. Bruley, H.J. Bicher (Hrsg.): Oxygen Transport to Tissue: Advances in Experimental Medicine and Biology. Vol. 37B. New-York - London, 1973, 1121 - 27.

42 HUCH, R., D.W. LÜBBERS, A.HUCH: The Transcutaneous Measurement of Oxygen and Carbondioxide Tensions for the Determination of Arterial Blood Gas Value with Control of Local Perfusion and Peripheral Perfusion Pressure.
In: J.P. Payne, D.W.Hill: Oxygen Measurements in Biology and Medicine.
Butterworths, London and Boston, 1975, 121-38.

43 HUCH, R., D.W. LÜBBERS, A.HUCH: Zur Frage der Konstanz des arteriellen Po_2.
Medizinalmarkt /Acta medicotechnica, 23, 1975, 64-6.

44 JACOBSON, L., LÖFGREN, O.: Transcutaneous Monitoring of Po_2 in different Skin Areas in the Neonate and in the Scalp of the Fetus during Labor - Methodological and Physiological Observations.
Acta Obstet. Gynecol. Scand., Suppl. 56, 1977, 55-68.

45 KAPPERT, A.: Lehrbuch und Atlas der Angiologie.
Huber, Bern - Stuttgart - Wien, 1979.

46 KELLER, H.P., P. KLAUE, D.W. LÜBBERS: Transcutaneous Po_2 Measurement for Evaluating the Oxygen Supply of Skin Allo- and Autografts.
Eur. Surg. Res., 10, 1978, 272-82.

47 KNOTE, G., H. BOHMERT: Zur Bestimmung der Überlebensfähigkeit Nekrose gefährdeter Hautareale mittels transkutaner polarographischer Sauerstoffdruckmessung.
Fortschr. Med., 195, 1977, 640 - 4.

48 KÖNIG, Ch., B. KEMTER, W. BLEICHER, J. APITZ: Probleme der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung bei der Überwachung herzkranker Kinder.
In: P. Emmrich (Hrsg.): Pädiatrische Intensivmedizin, Thieme, Stuttgart , 1977.

49 KRIESEL, Ch.: Untersuchungen über die Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens verschiedener bekannter Risikofaktoren bei arteriellen Verschlußkrankheiten der Extremität.
Med. Diss., Gießen, 1978.

50 LORENTSEN, E.: Correlation between walking distance and hemodynamic values.
In: A. Bollinger, A. Grüntzig: Ergometric und Ergotherapie bei arteriellen Durchblutungsstörungen.
Huber, Bern, 1975, 56-9.

51 MAHLER, F., M. SCHLUMPF, A. BOLLINGER: Knöchelarteriendruck nach standardisierter Gehbelastung bei Gesunden und bei Patienten mit arterieller Verschlußkrankheit.
In: A. Kriessmann , A. Bollinger: Ultraschall-Doppler-Diagnostik in der Angiologie.
Thieme, Stuttgart, 1978, 24-9.

52 MATTHES, D., M. KAPP, J. LEIPERSBERGER, H. MÖRL: Aussagekraft von klinischen und hämodynamischen Untersuchungsmethoden bei der Diagnostik der arteriellen Verschlußerkrankung.
VASA, 8, 1979, 10 - 4.

53 MATTHES, D., M. KAPP, J. LEIPERSBERGER, H. MÖRL: Metabolische Veränderungen während ergometrischer Belastung bei Patienten mit arterieller Verschlußkrankheit und ihr Vergleich mit hämodynamischen Parametern. VASA, 8, 1979, 109-15.

54 MYHRE, H.O., A.J. KROESE: Ultrasound in the Study of Peripheral Blood Circulation. Acta chir. scand., Suppl. 488, 1979.

55 NISSEN, P., K. ALEXANDER , R. SIPPEL, W. HUHMANN, U. NIEDERGERKE, H. HUNDESHAGEN: Kreislauf- und Stoffwechselgrößen unter ergometrischer Belastung bei arterieller Verschlußkrankheit. VASA, 5, 1976, 28-32.

56 NISSEN, P., K. ALEXANDER, A. WITTENBORG, K. TAEGDER, H. HUNDESHAGEN, H. FABEL: Sauerstoffextraktion und Durchblutung unter ergometrischer Belastung bei arterieller Verschlußkrankheit. VASA, 3, 1974, 257 - 62.

57 PARZINGER, G., F. STEGEMANN, G. HUMMEL, G. HOLLMANN: Der transkutan gemessene Po_2 im standardisierten hypovolämischen Schock. Z. Kinderchir. 18, 1976, 14-9.

58 REINEKE, H.: Measurement of the Po_2 transcutaneously with an oxymeter: a new method for patients in intensive care. Resuscitation, 6, 1978, 21 - 7.

59 REINEKE, H., G. FIESEL, H. FRANKENBERGER, F.W. AHNEFELD: Der Oxymeter, ein neues Gerät zur kontinuierlichen transcutanen Messung des Sauerstoffpartialdruckes im arteriellen Blut. Anaesthesist, 26, 1977, 361 - 8.

60 ROOTH, G.: Continuous Transcutaneous Monitoring of Po_2 and Pco_2. Acta anaesth. scand., Suppl. 70, 1978, 175-9.

61 ROOTH, G., U. HEDSTRAND, H. TYDÉN, C. ÖGREN: The validity of the transcutaneous oxygen tension method in adults. Crit. Care Med., 4, 1976, 162 -5.

62 ROOTH, G., St. SWANSTRÖM: Ergebnisse der Langzeitüberwachung schwerstkranker Kinder mit dem Sauerstoff-kardiorespirogramm.
In: P. Emmrich (Hrsg.): Pädiatrische Intensivmedizin. Thieme, Stuttgart, 1977, 72-6.

63 SEEBACH, G., B. STAUDE, E. LATTA: Klinische Erfahrungen mit der transkutanen Po_2-Messung bei Früh- und Neugeborenen.
In: P. Emmrich (Hrsg.): Pädiatrische Intensivmedizin. Thieme, Stuttgart, 1977, 83-8.

64 SEVERINGHAUS, J.W., M. STAFFORD, A.M. THUNSTRÖM: Estimation of Skin Metabolism and Blood Flow with $tcPo_2$ and $tcPco_2$ Electrodes by Cuff Occlusion of the Circulation.
Acta anaesth. scand., Suppl. 68, 1978, 9-15.

65 SCHOOP, W.: Beziehungen zwischen Risikofaktoren und Lokalisation arteriosklerotischer Wandveränderungen.
Med. Welt, 29, 1978, 1139-41.

66 SCHROEDER, W.: Die Messung des Sauerstoffdruckes in der Skelettmuskulatur - eine quantitative Methode zur Kontrolle der Sauerstoffversorgung und der Funktion der terminalen Muskelstrombahn.
Herz/Kreisl., 10, 1978, 146 - 53.

67 SCHÜTZ, R.M.: Beurteilung arterieller Funktionsreserven in Gliedmaßen.
Urban &Schwarzenberg, München - Berlin - Wien, 1975, S. 31.

68 STECHELE, U., P. EMMRICH: Validität der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmeßtechnik ($tcPo_2$) bei der Langzeitüberwachung schwerstkranker Kinder.
Mschr. Kinderheilk., 125, 1977, 427-8.

69 STOSSECK, K.: Transcutane Sauerstoffmessung: Methodik und klinische Anwendung.
Springer, Berlin - Heidelberg - New-York, 1977.

70 TØNNESEN, K.H.: Transcutaneous Oxygen Tension in Imminent Foot Gangrene.
Acta anaesth. scand., Suppl. 68, 1978, 107-10.

71 VASLI, S.: Postischemic Polarography in Human Calf Muscle.
Acta chir., scand., Suppl. 315, 1963.

72 VASLI, S.: Polarographic Studies on Ischemic Muscle. Scand. J. clin. Lab. Invest., Suppl. 93, 1967, 147-8.

73 VERSMOLD, H.T., O.LINDERKAMP, K.H. STUFFER, M. HOLZMANN, K.P. RIEGEL: In Vivo vs. In Vitro Response Time of Transcutaneous Po_2 Electrodes. Acta anaesth. scand., Suppl. 68, 1978, 40-8.

74 VESTERAGER, P.: Transcutaneous Po_2 Electrode. Scand. J.clin. Lab. Invest., Suppl. 146, 1977, 27-30.

75 WENDTLAND, U.: Vergleichende prä- und postoperative Untersuchungen an Säuglingen mit Mikroblut- und transkutaner Po_2 Bestimmung. Med.Diss., Würzburg, 1976.

LEBENSLAUF

Am 10. November 1951 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Heinz Knecht und seiner Frau Annemarie, geb. Danner in Zweibrücken geboren.

Von 1958 - 1962 besuchte ich die Grundschule in Darmstadt. 1962 wechselte ich auf die Georg-Büchner-Schule, wo ich im Juni 1970 mit dem Abitur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Schultyp abschloß.

Nach einer kaufmännischen Lehre begann ich im Herbst 1972 mit dem Studium an der wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität Würzburg.

1973 heiratete ich Ulrike, geb. Hengst.

Ab Sommersemester 1975 erhielt ich die Zulassung für einen Studienplatz in Medizin an der Universität Würzburg. Im März 1977 legte ich das Physikum ab. Ein Jahr später bestand ich den ersten Teil der ärztlichen Prüfung und im März 1980 den zweiten Teil. Nach dem praktischen Jahr (Wahlfach Anästhesiologie) legte ich am 7. April 1981 den schriftlichen Teil und am 14. April 1981 den mündlichen Teil des dritten Abschnitts der ärztlichen Prüfung ab.

Am 3. Februar 1981 wurde unsere Tochter Barbara geboren.